

Aus dem Zentrum für Klinische Tiermedizin der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Prof. Dr. Dr. habil. R. Köstlin

**Prognose von Metakarpal- und Metatarsalfrakturen
im Therapievergleich –
Eine retrospektive Analyse von Spätkontrollen
bei 112 Katzen und 100 Hunden**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Matthias Reinhard Kornmayer
aus
Radolfzell am Bodensee

München 2014

Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Joachim Braun

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Roberto Köstlin

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Gabriela Knubben-Schweizer

Tag der Promotion: 08. Februar 2014

MEINER FAMILIE UND HERRN GEORG HIEBL

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	III
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	2
2.1 <i>Anatomien des Metakarpus und des Metatarsus.....</i>	2
2.1.1 Knochen	2
2.1.2 Sehnen, Bänder, Muskeln, Gefäße und Nerven	3
2.2 <i>Metakarpal- und Metatarsalfrakturen.....</i>	4
2.2.1 Alters-, Geschlechts- und Rasseverteilung.....	4
2.2.2 Häufigkeit, Ursache, Art und Lokalisation	4
2.2.3 Klinische Symptomatik und Diagnostik	8
2.3 <i>Behandlung.....</i>	10
2.3.1 Behandlungsrichtlinien	10
2.3.2 Zugänge und chirurgische Anatomie	11
2.3.3 Operative Therapie	12
2.3.3.1 Basisfrakturen	12
2.3.3.2 Schaftfrakturen.....	12
2.3.3.3 Caputfrakturen	18
2.3.3.4 Stressfrakturen.....	19
2.3.4 Verbandsbehandlung	19
2.3.5 Implantatentfernung	20
2.3.6 Komplikationen.....	20
2.4 <i>Behandlungsergebnisse</i>	21
2.5 <i>Ganganalyse</i>	23
3 Veröffentlichung Nr.1	24
3.1 <i>Publikation</i>	24
3.2 <i>Abbildungen und Tabellen.....</i>	40
4 Veröffentlichung Nr.2	56
4.1 <i>Publikation</i>	56
4.2 <i>Abbildungen und Tabellen.....</i>	70

5 Diskussion.....	80
6 Zusammenfassung	87
7 Summary.....	90
8 Literaturverzeichnis.....	92
9 Danksagung	98

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
M.	Musculus
Mm.	Musculi
Mc	Metakarpalknochen
Mt	Metatarsalknochen
Nn.	Nervi
V.	Vena
Vv.	Venae
Mc/Mt I-V	Os metacarpale/-tarsale primum-quintum

1 Einleitung

Mittelfußfrakturen sind häufig in der Kleintierpraxis (Phillips 1979, Ness et al. 1996, Zahn et al. 2006). Dennoch stehen nur wenige Studien über die Behandlung und ihre Ergebnisse zur Verfügung (Manley 1981, Lösslein 1982). Mittelfußbrüche wurden anfangs überwiegend konservativ behandelt (Omrod 1966, Rudy 1975). Mit zunehmender Verbreitung operativer Verfahren wurde die Osteosynthese als Therapieansatz empfohlen (Manley 1981, Muir und Norris 1997), im Gegensatz hierzu aber auch nur als „wertvolle Ergänzung zur konservativen Therapie“ bewertet (Lösslein 1982). Eine aktuellere Studie stellt darüber hinaus die bisher gültigen Behandlungsrichtlinien generell in Frage und fordert die Untersuchung einzelner Operationsmethoden (Kapatkin et al. 2000). Die Behandlung von Mittelfußfrakturen bleibt damit kontrovers diskutiert, von geringem Evidenzgrad und Langzeitergebnisse ihrer Behandlung sowie die Evaluierung spezieller, chirurgischer Methoden fehlen (Wernham und Roush 2010, Kapatkin et al. 2012). Der praktizierende Tierarzt muss sich derzeit noch immer auf seine Intuition verlassen (Kapatkin 2012 et al.).

Ziel dieser Arbeit ist es, frakturstatistische Daten zu erheben und Langzeitergebnisse von Metakarpal- und Metatarsalfrakturen bei der Katze und beim Hund der Jahre 1990 bis 2008 an der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München klinisch, röntgenologisch und ganganalytisch unter Berücksichtigung der Therapiemethoden zu analysieren und ihre Prognose zu präzisieren.

Beispiele für Fragestellungen sind:

- Die Gültigkeit der Indikationsstellungen und die Prognose der konservativen und der operativen Therapie von Mittelfußbrüchen beim Hund.
- Die Leistungsfähigkeit der bisher wenig bzw. nicht validierten Markraumbolzung von Metakarpal- und Metatarsalfrakturen bei Katzen im Vergleich zu anderen Behandlungsverfahren.

Diese retrospektive Arbeit soll durch repräsentativere Fallzahlen für zukünftige Entscheidungen von Bedeutung werden, um die Therapie zu optimieren und damit zu einer verbesserten Lebensqualität der Patienten beizutragen.

2 Literaturübersicht

2.1 Anatomien des Metakarpus und des Metatarsus

Folgende Darstellung ist vereinfacht und berücksichtigt nur die anatomischen Aspekte des Mittelfußes, die im Hinblick auf das Verständnis der Frakturen und den Operationssitus notwendig erscheinen. Für weiterführende Informationen sei auf die Spezialliteratur verwiesen (Evans 1993, Frewein und Vollmerhaus 1994).

2.1.1 Knochen

Die Metakarpal- und Metatarsalknochen werden von medial nach lateral gezählt (1/2-5). Ein Os metatarsale primum existiert nur selten. Jeder Knochen besteht aus einer proximalen Basis, einem mittleren Körper/Schaft und einem distalen Caput. Jeder Knochen artikuliert proximal mit einem oder mehreren Karpal- bzw. Tarsalknochen und den benachbarten Mittelfußknochen. Distal artikulieren sie mit der Phalanx proximalis und zwei palmaren bzw. plantaren Sesambeinen. Letztere werden von medial nach lateral gezählt (1-8). Das Os metacarpale primum verfügt nur über ein singuläres, palmares Sesambein und wird nicht gezählt. Die Metakarpalia bzw. Metatarsalia 2-5 haben zudem je ein dorsales Sesambein, welches mit dem Caput artikuliert und beim Hund stets verknöchert ist. Das Mc1 hat nur eine proximale Epiphysenfuge, während die Metakarpalia/Metatarsalia 2-5 über distale Epiphysenfugen verfügen. Die Mittelfußknochen 2-5 sind gewichttragend und die zentralen Strahlen (3 und 4) sind aufgrund ihrer größeren Stärke und Länge hauptgewichttragend. Der 3. Metakarpalknochen bei der Katze ist am längsten. Die Körper haben relativ dicke Kortices, die zur Basis bzw. zum Caput hin dünner werden. Der Schaft hat zudem eine größere dorsopalmare/ -plantare als mediolaterale Ausdehnung. Die vier Mittelfußknochen bilden einen nach distal divergierenden, dorsal konvexen Bogen. Bei der Katze ist der Schaft der Mittelfußknochen leicht nach kranial gewölbt. Die Metatarsalknochen sind länger und kräftiger und bei der Katze doppelt so lang wie die Metakarpalknochen (Evans 1993, Vollmerhaus et al. 1994, Probst und Millis 2003, Dyce 2006).

2.1.2 Sehnen, Bänder, Muskeln, Gefäße und Nerven

Die Basen der Mittelfußknochen dienen den Sehnen der Karpal- bzw. Tarsalgelenkstrecker und -beuger als Ansatzpunkt. Der M. extensor carpi radialis inseriert dorsal des Mc 2 und 3. Der M. extensor carpi ulnaris setzt lateral und das laterale, distale Halteband des Os carpi accessorium setzt an der lateropalmaren Fläche des Mc 5 an. Der M. tibialis cranialis und das Lig. collaterale mediale longum setzen medial am Mt 2 und, wenn vorhanden, am Mt 1 an. Der M. fibularis brevis und das Lig. collaterale laterale longum inserieren lateral am Mt 5. Zwischen den distalen Karpal- bzw. Tarsalknochen und den Metakarpal- bzw. Metatarsalknochen sind dorsal und palmar/plantar kurze Bänder ausgebildet (Hermanson und Evans 1993, Frewein 1994).

Die Sehnen der Zehenstrecker verlaufen gebündelt über den Karpus und teilen sich im proximalen Mittelfußbereich in mehrere Schenkel auf. Der M. extensor digitalis communis zieht dorsal mit je einem Schenkel über die Mc 2-5. Der M. extensor digitalis lateralis verläuft auf dem Mc 5 und quer unter dem gemeinsamen Zehenstrecker den Mc 3-4 (Hund) bzw. Mc 2-3 (Katze) entlang. Über die Dorsalflächen der Metakarpalia zieht auch der für die erste und zweite Zehe bestimmte M. extensor pollicis et indices. Die Sehne des M. extensor digitalis longus verläuft mit vier Schenkeln dorsal den Mtt 2-5 entlang, die des M. extensor digitalis lateralis verläuft am dorsolateralen Rand des Mt 5. Unter der Sehne des langen Zehenstreckers liegt am Metatarsus der M. extensor digitalis brevis fast dem gesamten Fußrücken auf. Die gemeinsamen bzw. langen Zehenstrecker werden von Gefäßen (A./V. antebrachialis superficialis cranialis und A./V. saphena bzw. Aa./Vv. digitales dorsales communes) und Nerven begleitet (Nn. digitales dorsales communes et abaxiales) (Hermanson und Evans 1993, Frewein 1994, Frewein 1994, Frewein et al. 1994).

Die Zehengrundgelenke werden stabilisiert durch die Gelenkkapsel, die Kollateralbänder, die Ligg. intersesamoidea, den Sehnen der Mm. interossei und den lateralen, medialen, distalen und gekreuzten Ligg. sesamoidea (Evans 1993, Vollmerhaus et al. 1994).

2.2 Metakarpal- und Metatarsalfrakturen

2.2.1 Alters-, Geschlechts- und Rasseverteilung

Frakturen allgemein betreffen vermehrt junge Katzen und Hunde (Phillips 1979, Wong 1984, Ness et al. 1996). Nach einer Untersuchung mit höherer Patientenzahl gilt dies auch für Mittelfußbrüche (Lösslein 1982). Unerfahrenheit, Ungehorsam und die geringe Festigkeit jugendlicher Knochen kommen hierfür ursächlich in Betracht (Lösslein 1982). Beim Greyhound besteht ein Höhepunkt der Inzidenz aufgrund des Trainingsbeginns beziehungsweise des sportlichen Einsatzes im Alter von ungefähr 14-24 Monaten (Gannon 1972, Boemo 1998).

Sowohl bei der Katze als auch beim Hund sind männliche Tiere häufiger von Frakturen allgemein und insbesondere von Frakturen des Mittelfußes betroffen (Phillips 1979, Lösslein 1982, Wong 1984). Vermutlich aufgrund des späteren Erreichens der körperlichen Reife und des größeren Körpergewichts überwiegen auch beim sportlich eingesetzten Greyhound männliche Tiere (Gannon 1972, Dee und Dee und Eaton-Wells 1990).

Eine offensichtliche Rasseprädisposition für Mittelfußbrüche beim Hund geht aus der Literatur nicht hervor (Muir und Norris 1997). In einer Studie waren kleinwüchsige Hunde am häufigsten und großwüchsige häufiger als mittelwüchsige Hunderassen von Mittelfußfrakturen betroffen (Lösslein 1982).

2.2.2 Häufigkeit, Ursache, Art und Lokalisation

Die Häufigkeit von Mittelfußfrakturen wird mit bis zu 7 % aller Frakturen bei der Katze und bis zu 11,9 % beim Hund angegeben (Phillips 1979, Wong 1984, Ness et al. 1996, Zahn et al. 2006). Beim sportlich eingesetzten Greyhound variiert die Inzidenz der Metakarpalfrakturen von 2,8 bis 32 % und die Inzidenz der Metatarsalfrakturen von 5 bis 16,9 % (Boemo 1998). Insgesamt stellen Mittelfußfrakturen die häufigste Frakturform beim sportlich eingesetzten Greyhound dar (Gannon 1972).

Die meisten Mittelfußfrakturen sind die Folge eines direkten Traumas oder einer Hyperextensionsverletzung (Early und Dee 1980, Dee 2005). Der Autounfall

beim Hund (Phillips 1979, Lösslein 1982, Muir und Norris 1997) und Stürze beziehungsweise Sprünge bei der Katze spielen dabei die größte Rolle (Lösslein 1982, Zahn et al. 2006). Weitere Traumaursachen sind Tritte, fallende Gegenstände, Quetschungen, Kämpfe, Bisse, Schüsse und Mähdrescher. Nicht selten ist die Ursache unbekannt (Phillips 1979, Lösslein 1982, Muir und Norris 1997, Zahn et al. 2006, De La Puerta et al. 2008). Von Metakarpalfrakturen nach Panarthrodesen des Karpus wurde ebenfalls berichtet. Diese sind seltener, wenn über 53 % der Knochenlänge von der Platte bedeckt wurden (Whitelock et al. 1999).

Mittelfußfrakturen beim Greyhound sind aufgrund des Renneinsatzes häufiger Stressfrakturen und seltener Folge eines direkten Traumas. Die exzessive Überladung überwiegt die reparativen Prozesse. Diese progressive Schwächung der Knochenstruktur führt zu Mikrofrakturen, die sich zu vollständigen Frakturen ausweiten können (Gannon 1972, Anderson und Constantinescu 1995, Boemo 1998).

Begleitverletzungen wurden bei jeweils über 40 % der Katzen und Hunde beobachtet (Lösslein 1982) und beim Hund vor allem nach Autounfällen diagnostiziert (Lösslein 1982). Der geringe Weichteilmantel im Bereich der Pfote liefert während eines Unfalls nur wenig Schutz. Daher sind Verletzungen der distalen Extremität häufig schwer, betreffen weitere Strukturen (Early und Dee 1980, Lösslein 1982, Anderson und Constantinescu 1993) und wurden beim Hund häufiger als bei der Katze beobachtet (Lösslein 1982). Bei Ersteren spielen insbesondere Zehenfrakturen und schwere Weichteilschäden der gesamten Pfote, aber auch Verletzungen der Karpal- und Tarsalgelenke eine große Rolle. Mittelfußbrüche des Hundes sind daher im Vergleich zur Katze häufiger offen (Lösslein 1982). Insgesamt jedoch handelt es sich bei Mittelfußfrakturen überwiegend um geschlossene Brüche (Manley 1981, Lösslein 1982, Muir und Norris 1997). Entsprechend dem Unfallhergang, also einem Sturz aus großer Höhe, sind häufige zusätzliche Verletzungen bei der Katze ein stumpfes Thoraxtrauma, Unterarmfrakturen und Kopfverletzungen (Lösslein 1982, Whitney und Mehlhaff 1987).

Die Klassifikation von Mittelfußbrüchen erfolgt gemäß ihrer Topographie (Metakarpus/Metatarsus) und ihrer anatomischen Lokalisation. Demnach unterscheidet man Frakturen der Basis, des Schaftes und des Caputs sowie der Wachstumsfuge (Lösslein 1982, Piermattei 1993).

Hinsichtlich der Verteilung von Mittelfußfrakturen auf den Metakarpus beziehungsweise den Metatarsus finden sich unterschiedliche Angaben in der Literatur. Während eine Untersuchung mehr Metakarpalfrakturen beim Hund feststellen konnte und dies mit dem Schutz der Hintergliedmaße durch den Rumpf während eines Autounfalls zu begründen versucht (Muir und Norris 1997), statuiert eine andere ein gehäuftes Vorkommen von Metakarpalfrakturen nur für großwüchsige Rassen (Lösslein 1982). Die übrigen Studien weisen eine gleichmäßige Verteilung auf (Phillips 1979, Manley 1981). Bei Katzen jedoch ist der Metakarpus in der Regel vermehrt betroffen, was sich durch den Sturz aus großer Höhe als Hauptursache des Traumas erklären lässt (Lösslein 1982, Zahn et al. 2006, Degaspero et al. 2007).

Bilaterale Frakturen betreffen bei Katzen besonders die Vordergliedmaßen und sind beim Hund insgesamt selten. Ipsilaterale Frakturen des Metakarpus und des Metatarsus sind bei beiden Spezies selten (Lösslein 1982, Muir und Norris 1997, Zahn et al. 2006, Degaspero et al. 2007).

Während manche Untersuchungen vermehrt Einzelfrakturen feststellten (Phillips 1979, Lösslein 1982), dominierten bei anderen Studien Frakturen von drei und vier Mittelfußknochen (Manley 1981, Muir und Norris 1997). Unter den Einzelfrakturen sind das Mc 5 und das Mt 2 beim Hund und das Mc bzw. Mt 3 und 4 bei der Katze, letztere vornehmlich nach Sprüngen oder Stürzen, am häufigsten betroffen (Lösslein 1982, Zahn et al. 2006). Sind alle vier Knochen frakturiert, betrifft dies vermehrt den mittleren oder distalen Metakarpus und den proximalen Metatarsus (Muir und Norris 1997, De La Puerta et al. 2008). Bei der Katze ist vermutlich aufgrund der stärkeren Krümmung des Knochens in diesem Bereich das distale Schaftdrittel des Metatarsus vermehrt betroffen (Lösslein 1982).

Frakturen der distalen Gliedmaße im Allgemeinen (Manley 1981) und besonders multiple Frakturen sind vermehrt disloziert (Muir und Norris 1997, De La Puerta et al. 2008). Bei 87 % der Mehrfachbrüche war mindestens ein Strahl vor allem nach lateral disloziert. Der Dislokationsgrad nimmt zu, je distaler sich die Frakturen befinden (Muir und Norris 1997).

Basisfrakturen sind in der Regel Abrissfrakturen ligamentöser und tendinöser Ansätze und betreffen vornehmlich den 2. und 5. Metakarpal- beziehungsweise Metatarsalknochen. Daher kann bei einer Fraktur des Mc bzw. Mt 2 eine Valgusfehlstellung und bei einer Verletzung des Mc bzw. Mt 5 eine Varusdeformität des Fußes entstehen (Anderson und Constantinescu 1993, Piermattei 1993). Metakarpalbasisfrakturen sind überwiegend Abrissfrakturen des Mc 5 und als Hyperextensionsverletzungen des Karpalgelenks zu interpretieren (Lösslein 1982). Darüber hinaus kann eine Hyperextensionsverletzung der palmaren Bänder in der Articulatio carpometacarpea vorliegen (Piermattei 1993).

Die Mehrzahl der Mittelfußfrakturen bei Hund und Katze betrifft den Schaft und sind Quer- und Schrägfrakturen (Lösslein 1982, Muir und Norris 1997, Zahn et al. 2006).

Frakturen des Caputs sind selten, am häufigsten Trochleaverletzungen, damit artikuläre Frakturen und resultieren aufgrund der hier inserierenden Kollateralbänder in einer Instabilität und Luxation bzw. Subluxation in der Articulatio metacarpophalangea (Anderson und Constantinescu 1993, Piermattei 1993, Probst und Millis 2003).

Bei den Stressfrakturen des Greyhounds werden drei Typen unterschieden:

Typ I: Eine geringe Lahmheit tritt nach dem Renneinsatz oder einen Tag später auf. Röntgenologisch weist die Diaphyse eine kortikale Verdickung und der Markraum eine erhöhte Dichte auf.

Typ II: Eine mittelgradige Lahmheit tritt unmittelbar nach dem Rennen auf. Röntgenologisch findet sich eine nicht bzw. minimal dislozierte, diaphysäre Fissur.

Typ III: Es liegt eine hochgradige Lahmheit vor. Röntgenologisch stellt sich häufig eine zertrümmerte, vollständige Fraktur mit palmarer/plantarer Dislokation dar. Beim sportlich eingesetzten Greyhound sind das Mc 5 links, das Mc 2 rechts und das Mt 3 rechts prädisponiert. Schaftbrüche des linken Mc 5 werden häufiger als alle anderen Mittelfußknochen zusammen beobachtet. Typischerweise handelt es sich um Y-Frakturen mit dem Fragment auf der lateralen Seite. Der Greyhound ist dazu bestimmt geradeaus zu rennen mit der größten Belastung auf den zentralen Strahlen. Das Rennen auf einer elliptischen oder runden Bahn entgegen dem Uhrzeigersinn verlagert das Körpergewicht auf die lateralen Strahlen des linken Mittelfußes und auf die medialen Strahlen des rechten Mittelfußes. Zudem lehnt sich der Körper hierbei vermehrt auf die mediale Körperseite. Das Mc 5 ist in dieser Situation der Rennbahn am nächsten und muss daher einen größeren Anteil des Gewichts tragen (Gannon 1972, Hickman 1975, Bellenger et al. 1981, Dee und Dee 1985, Ness et al. 1993, Anderson und Constantinescu 1995, Boemo 1998, Dee 2005).

2.2.3 Klinische Symptomatik und Diagnostik

Entsprechend der Unfallursache (Autounfall, Sturz) sind Begleitverletzungen häufig, können ungefähr in je 10 % der Katzen- und Hundepatienten lebensbedrohlich sein und müssen vor den Mittelfußbrüchen berücksichtigt werden. Der initialen Stabilisierung des Patienten sollte daher eine sorgfältige Allgemeinuntersuchung und erst anschließend eine orthopädische Untersuchung folgen (Lösslein 1982, Whitney and Mehlhaff 1987, Anderson und Constantinescu 1993, Wernham und Roush 2010).

Die meisten Tiere werden mit einem akuten Trauma vorgestellt. Patienten mit Mittelfußbrüchen sind für gewöhnlich lahm oder belasten die betroffene Gliedmaße nicht. Selbst einfache Verletzungen können in einer funktionellen Störung resultieren. Tiere mit chronischen Verletzungen werden mit einer dezentren Lahmheit vorgestellt (Early und Dee 1980, Probst und Millis 2003, Wernham und Roush 2010).

Die Diagnose wird mittels Anamnese, orthopädischer Untersuchung und anhand von Röntgenaufnahmen gestellt. Bei der orthopädischen Untersuchung weisen

Patienten mit Mittelfußknochen Schwellung, Schmerz und Krepitation im Frakturbereich auf. Die Haut sollte genau untersucht werden, da die Frakturen offen und mit starkem Weichteiltrauma assoziiert sein können (Anderson und Constantinescu 1993, Okumura et al. 2000, Wernham und Roush 2010). Liegt eine Basisfraktur des 2./5. Metakarpal-/Metatarsalknochens vor, sollte aufgrund des ligamentösen Ansatzes eine Valgus- bzw. eine Varusdeformität ausgeschlossen werden. Darüber hinaus kann in diesen Fällen eine Hyperextensionsverletzung der palmaren Bänder in der *Articulatio carpometacarpea* vorliegen (Early und Dee 1980, Piermattei 1993). Kondylusfrakturen des Caputs resultieren aufgrund des Kollateralbandansatzes in einer Subluxation oder Luxation mit Achsenabweichung der betroffenen Zehe (Piermattei 1993, Probst und Millis 2003).

Die röntgenologische Untersuchung erfolgt am besten am sedierten Patienten. Hochauflösende Filme und Bildschirme werden empfohlen (Anderson und Constantinescu 1993). Mediollaterale und dorsopalmare/-plantare Röntgenaufnahmen sind meist ausreichend und sollten sorgfältig im Hinblick auf die Lokalisation der Fraktur und den Frakturtyp, den Dislokationsgrad und eine Gelenkbeteiligung hin untersucht werden (Probst und Millis 2003, Piras und Guerrero 2012). Schrägaufnahmen (dorsopalmar 15°, mediolateral 45°) zur besseren Darstellung der Mittelfußbrüche werden selten benötigt, können aber zur Einschätzung des Ausmaßes von Fissuren oder Trümmerbrüchen hilfreich sein (Probst und Millis 2003, Piras und Guerrero 2012). Stress-/Funktionsaufnahmen werden benötigt, wenn Bandverletzungen vermutet werden (Anderson und Constantinescu 1993).

2.3 Behandlung

2.3.1 Behandlungsrichtlinien

Bei minimal dislozierten Frakturen, Brüchen von einem oder zwei Knochen, insbesondere wenn einer der hauptgewichttragenden dritten und vierten Mittelfußknochen intakt ist, wird die konservative Therapie mittels Verband und Schienung empfohlen (Singleton 1966, Wind 1976, Early und Dee 1980, Manley 1983, Piermattei 1993, Muir und Norris 1997). Die Reposition erfolgt unter Allgemeinanästhesie (Lösslein 1982). Die übrigen gesunden Knochen wirken als Schienung und halten die Achse aufrecht (Wind 1976, Piermattei 1993). Die für die operative Behandlung zu kleiner Fragmente artikulärer Frakturen müssen ebenfalls konservativ behandelt werden (Lösslein 1982).

Die offene Reposition und Fixation ist indiziert, wenn mehr als zwei Knochen derselben Gliedmaße frakturiert sind, insbesondere wenn beide hauptgewichttragenden Strahlen oder aufgrund erhöhter Dislokationstendenz die mittlere und distale Mittelfußregion betroffen sind. Außerdem bei artikulären Brüchen und bei dislozierten Basisfrakturen des 2. oder 5. Metakarpal- bzw. Metatarsalknochens. Des Weiteren bei zertrümmerten, stark dislozierten (> 50 %) und offenen Frakturen sowie bei Arbeitshunden (Singleton 1966, Wind 1976, Early und Dee 1980, Manley 1981, Lösslein 1982, Piermattei 1993, Muir und Norris 1997, Kapatkin et al. 2000, Probst und Millis 2003).

Da diese Verletzungen häufig mit einem schweren Weichteiltrauma einhergehen, muss die Initialtherapie eine Wundrevision und eine Infektionsprophylaxe mit einschließen. Erst dann können die Mittelfußfrakturen versorgt werden (Lösslein 1982, Anderson und Constantinescu 1993).

Diese Behandlungsrichtlinien sind vermutlich aus der Humanmedizin abgeleitet und haben eventuell keine Gültigkeit für den veterinärmedizinischen Patienten (Kapatkin et al. 2000). Klare Indikationen für die konservative oder die operative Behandlung von Mittelfußfrakturen gehen daher aus der Literatur nicht hervor. Letztlich muss der praktizierende Tierarzt eine intuitive Entscheidung treffen (Kapatkin et al. 2012).

Viele Patienten umfassende, prospektive sowie randomisierte Studien mit Kontrollgruppen werden benötigt, bevor definitive Empfehlungen ausgesprochen werden können (Muir und Norris 1997, Kapatkin et al. 2000, Wernahm und Roush 2010).

2.3.2 Zugänge und chirurgische Anatomie

Der Zugang hängt von der Anzahl frakturierter Knochen ab. Bei einer Einzelfraktur erfolgt die Hautinzision direkt über dem betroffenen Mittelfußknochen (Mc/Mt 3 und 4) (Wind 1976, Piermattei und Johnson 2004), kann aber auch, um das Trauma für die Strecksehnen zu minimieren, medial (Mc/Mt 2) bzw. lateral (Mc/Mt 5) erfolgen (Dee 2005). Sind zwei benachbarte Knochen frakturiert, erfolgt die Inzision zwischen ihnen. Müssen mehrere oder alle Knochen dargestellt werden, besteht die Möglichkeit zweier longitudinaler dorsaler, beziehungsweise eines H-förmigen Schnittes (Piermattei und Johnson 2004). Des Weiteren sind U-förmige (Dee 2005), X-förmige (Okumura 2000) und eine geschwungene, dorsale Inzision beschrieben. Letztere beginnt an der Basis des Mc/Mt 2, verläuft zur Diaphyse des Mc/Mt 5 und endet am Caput des Mc/Mt 2, so dass ein Hautlappen abpräpariert werden kann (Piermattei und Johnson 2004).

Um zu Mc 2 und 3 zuzugehen, wird die tiefe Faszie über Mc 2 und für Mc 4 und 5, wird sie über Mc 5 inzidiert. Anschließend werden die Gefäße und Sehnen dargestellt und nach lateral bzw. nach medial retrahiert. Die Präparation von Mc 4 erfordert bisweilen einen Zugang zwischen den Sehnen (Piermattei und Johnson 2004).

Mt 2 und 5 können ohne Risiko für die Gefäße und Sehnen dargestellt werden. Im Anschluss wird die tiefe Faszie für die vollständige Exposition inzidiert. Für die Präparation von Mt 3 und 4 hingegen muss die Sehne des M. extensor digitalis longus inklusive seiner begleitenden Gefäße gelöst und zur Seite gehalten werden (Piermattei und Johnson 2004).

Nach Beendigung des Eingriffs wird die tiefe Faszie verschlossen, um die Sehnen und Gefäße in ihre physiologische Lage zu verbringen. Auf und zwischen den Mittelfußknochen befinden sich kleine Gefäße, die in der Regel nicht geschont werden können. Ein Esmarch-Schlauch kann verwendet werden, um die Blutungen zu kontrollieren, sollte aber nicht länger als eineinhalb Stunden

eingesetzt werden. Nach Verschluss der Haut kann ein festsitzender Verband helfen Sickerblutungen zu vermeiden (Probst und Millis 2003, Piermattei und Johnson 2004, Dee 2005).

Nicht zuletzt stellen minimal-invasive Zugänge eine brauchbare Alternative zum Schutz des Gewebes dar und erhöhen die Chance auf eine ungestörte Heilung. Bei Frakturen der Basis und des Caputs können Stichinzisionen über der Fraktur für die Insertion von Zugschrauben ausreichen. Bei Frakturen des 3. und 4. Metakarpal- bzw. Metatarsalknochens können beide Knochen über ein oder zwei zentrale Hautinzisionen proximal und distal des Frakturbereichs erreicht und die Implantate über einen epi-periostalen Tunnel eingebracht werden. Der 2. und 5. Strahl können auf gleiche Weise, jedoch von lateral über einen individuellen Zugang, erreicht werden (Piras und Guerrero 2012).

2.3.3 Operative Therapie

2.3.3.1 Basisfrakturen

Frakturen der Basis betreffen am häufigsten den 2. und 5., seltener den 3. Metakarpalknochen. Dislozierte Frakturen großwüchsiger und aktiver Hunde werden in der Regel durch eine Drahtzuggurtung oder mit Zugschrauben beziehungsweise bei Splitterfrakturen mit kleinen Platten in Kombination mit Zugschrauben und Drahtcerclagen fixiert. Zusätzlich kann eine Hyperextensionsverletzung vorliegen und eine Pankarpalarthrodese indiziert sein (Lösslein 1982, Piermattei 1993, Anderson und Constantinescu 1993, Dee 2005). Nicht dislozierte Brüche können konservativ und die für die operative Behandlung zu kleinen Fragmente müssen konservativ mittels Verband behandelt werden (Lösslein 1982, Piermattei 1993, Anderson und Constantinescu 1993). Allerdings muss aufgrund des Sehnenzugs mit einer geringen Dislokation des Fragments und mit Arthrosen gerechnet werden (Lösslein 1982, Piermattei 1993).

2.3.3.2 Schaftfrakturen

Als chirurgische Methoden für Schaftbrüche stehen intramedulläre Bohrdrähte, die Plattenosteosynthese, der Fixateur externe sowie Zugschrauben und Drahtcerclagen zur Verfügung.

Bei der Stabilisierung von Frakturen mehrerer Mittelfußknochen mit intramedullären Techniken wird die Versorgung von mindestens zwei Strahlen empfohlen, um eine physiologische Achse zu erzielen (Wind 1976, Piermattei 1993). Die Kirschnerbohrdrähte können bei Mc/Mt2 tiefer inseriert werden, da deren Basis im Vergleich zu den übrigen Mittelfußknochen weiter nach proximal reicht. Die Durchmesser der Markräume der zentralen Strahlen (Mc/Mt 3 und 4) sind größer als die der peripheren Strahlen. Dies muss bei der Implantatwahl berücksichtigt werden (Dee 2005). Die Größe des Pins wird vom Markraumdurchmesser und der Form des Schaftes bestimmt (Benedetti 1986). Die breiten Kortices und kleinen Markraumdurchmesser des Mittelfußes führen dazu, dass relativ kleine Bohrdrähte verwendet werden müssen. Diese neigen daher bei retrograder Insertionsrichtung zur Biegung oder Migration (Probst und Millis 2003). Die Empfehlungen hinsichtlich der Bohrdrahtdurchmesser variieren. Während eine Studie bei Katzen zu einem Durchmesser von über 1 mm rät (Zahn et al. 2006), statuiert eine andere gute Ergebnisse für Katzen mit Bohrdrähten von 0,6 mm (Degasperi et al. 2007). Generell sollte der Bohrdraht den Markraum ausfüllen und möglichst weit in beide Fragmente eingeführt werden (Ammann 1952, Leonard 1971). Dies ist aufgrund von Variationen des Schaftdurchmessers oder des Frakturtyps nicht immer zu gewährleisten und kann die Stabilität beeinträchtigen (Rudy 1975). Wahrscheinlich aufgrund von Instabilität im Frakturbereich sind Achsenabweichungen nicht selten (Muir und Norris 1997). Bei offenen Frakturen ist die Indikation zur Markraumfixation sehr eng zu fassen, zumal überdies durch Zerstörung medullärer Gefäße die Gefahr einer Osteomyelitis erhöht wird (Schweiberer und Lindemann 1973).

Bei der Versorgung von Mittelfußfrakturen bei Katzen und Hunden mit intramedullären Bohrdrähten werden hinsichtlich der Insertionsrichtung normograde von retrograden Methoden unterschieden.

Bei den normograden Methoden wird unter Beugung der Zehe der Bohrdraht knapp oberhalb des Caputs in die Markhöhle eingebracht und nach der Reposition der Fraktur in das proximale Fragment geführt. Der Bohrdraht muss dabei entsprechend einem Rush-Pin vorgebogen werden. Um oberhalb des Gelenks inseriert werden zu können, muss er zudem einen kleineren

Durchmesser als der Markraum aufweisen. Eine Verletzung des Zehengrundgelenkes sollte vermieden werden. Der distale Überstand des Bohrdrahtes wird anschließend gebogen, gekürzt und dem Knochen anmodelliert, um Weichteilreizungen zu verringern. Nach röntgenologisch diagnostizierter Heilung der Frakturen sollten die Implantate entfernt werden (Anderson und Constantinescu 1993, Piermattei 1993, Dee 2005). Das Risiko einer Verletzung des Zehengrundgelenkes kann minimiert werden, indem ein Loch in den dorsalen Kortex vorgebohrt wird. Dabei sollte die Bohrung ausreichend groß gestaltet werden, dass der Bohrdraht während des Vortreibens im Markraum verbleibt und nicht den palmaren/plantaren Kortex durchtritt. Die Vorbohrung kann im Fall distaler Frakturen auch im proximalen Fragment angelegt werden (Dee 2005).

Bei den retrograden Methoden wird der Bohrdraht von der Frakturfläche aus in das distale Fragment eingebracht und sollte dorsal und proximal des Zehengrundgelenks austreten. Nach der Frakturpositionierung wird der Bohrdraht in das proximale Fragment getrieben und anschließend gekürzt. Der Knochen kann bei dieser Technik splintern und muss unter diesen Umständen durch das Gelenk geführt werden. Penetriert der Bohrdraht das Gelenk, ist der Verband mit gebeugten Zehen anzubringen und die Bohrdrähte müssen nach der Frakturheilung entfernt werden (Wind 1976).

Eine retrograde Variante zur Reduzierung von Verletzungen des Zehengrundgelenkes mit anschließender Arthropathia deformans besteht in der schrägen Bohrung (45° nach dorsal) eines Lochs dorsal und proximal des Zehengrundgelenkes. Der Bohrdraht sollte von seinem Durchmesser größer als der intramedullär verwendete Pin sein. Anschließend wird ein an der Spitze vorgebogener Draht (35° nach dorsal) von der Frakturseite nach distal durch das Loch geführt, herausgezogen und nach der Reposition nach proximal getrieben. Wichtig hierbei ist, dass der Pin stabil sitzen muss, um nicht zu wandern. Der Überstand ist zu kürzen (Benedetti 1986). Unbefriedigende Ergebnisse in Form einer Arthropathia deformans sind immer zu erwarten, wenn Draht durch die Gelenkwalze geführt wurde (Lösslein 1982).

Eine weitere retrograde Variante eliminiert das Risiko für das Zehengrundgelenk vollständig im Vergleich zu den übrigen Methoden. Sie wurde für die Versorgung

von Rippenfrakturen beschrieben und auch für Mittelfußfrakturen empfohlen (Rudy 1975). Der Bohrdraht wird in das längere Frakturfragment eingebracht und der Überstand auf ca. 1-1,5 cm gekürzt. Alternativ kann der Bohrdraht durch intraoperatives Anlegen an den Knochen oder mit Hilfe des Röntgenbildes vorgeschritten werden. Auf das aus dem Knochen stehende Bohrdrahtende stülpt man unter vorsichtigen Drehbewegungen das kürzere Fragment. Werden mehrere Pins gesetzt, können die korrespondierenden Fragmente nach Distraction einzeln oder gleichzeitig aufgestülpt werden (Rudy 1975, Lösslein 1982, Piermattei 1993, Zahn et al. 2006, Degasperi et al. 2007). Diese Technik erfordert allerdings eine starke Distraction der Frakturenenden und kann zu Verletzungen der Weichteile und Unterbrechung der Blutversorgung führen (Degasperi et al. 2007). Da sich die Fragmente zudem nur begrenzt distrahieren lassen, ist die Bohrdrahtlänge und daraus folgend die Stabilisierung der Frakturen begrenzt (Lösslein 1982). Aufgrund der höheren Flexibilität der Vorderpfote bei Katzen ist diese Distractionstechnik leichter bei Metakarpalfrakturen anzuwenden, sodass der Überstand des Bohrdrahtes hier größer als am Metatarsus ausfallen kann (Degasperi et al. 2007). Die Entfernung der Implantate ist in der Regel nicht nötig, ginge mit einem unverhältnismäßigen Trauma einher und ist daher im Allgemeinen nicht indiziert (Piermattei 1993, Zahn 2006, Degasperi et al. 2007). Bei der Katze konnten mit dieser Methode exzellente Resultate erzielt werden (Zahn et al. 2006, Degasperi et al. 2007).

Eine besondere Variante der retrograden Technik wurde bei offenen, distalen Metatarsaltrümmerfrakturen angewandt. Die geraden Überstände der intramedullären Pins wurden mit Technovit verbunden und zusätzlich mit einer Schiene aus Fieberglass stabilisiert. Der Patient zeigte ein Jahr postoperativ keine funktionelle Einschränkung und keine schwerwiegenden degenerativen Veränderungen im Bereich der Zehengrundgelenke der betroffenen Hintergliedmaße. Diese Methode kann eine einfache, ökonomische Alternative für die Behandlung von Trümmerfrakturen des Mittelfußes in ausgewählten Fällen darstellen (Okumura 2000).

Diese Methode wurde für juxta-artikuläre Frakturen des Metakarpus und des Metatarsus bei Katzen und kleinwüchsigen Hunden modifiziert. Hierbei wurden nach retrograder Bohrung die distalen Bohrdrahtüberstände nach dorsal umgebogen und mit zusätzlichen Bohrdrähten durch die proximalen Metakarpal-

oder Metatarsalknochen beziehungsweise durch die distalen Reihen des Karpus oder Tarsus in einen dorsalen Epoxid-Bolus inkorporiert. Diese Modifikation liefert zusätzlich die Stabilität eines Fixateurs externe, erlaubt die Benutzung der Pfote und vermeidet die Risiken eines Verbandes. Komplikationen der Technik waren gering, das klinische Langzeitergebnis war gut und röntgenologisch festgestellte Veränderungen im Bereich der Zehengrundgelenke waren mild und betrafen lediglich ein oder zwei Gelenke (Fitzpatrick 2010).

Die Pfote sollte unabhängig von der normograden oder retrograden Methode postoperativ mit einem Verband zusätzlich stabilisiert werden, da es sich um keine absolut stabile Fixation handelt (Wind 1976, Lösslein 1982, Benedetti 1986, Anderson und Constantinescu 1993, Piermattei 1993, Zahn et al. 2006, Degasperi et al. 2007).

Die Plattenosteosynthese kann bei multiplen, instabilen Quer- und Trümmerfrakturen des Schaftes, bei Pseudarthrosen sowie großwüchsigen und sportlich eingesetzten Hunden angewandt werden (Piermattei 1993, Anderson und Constantinescu 1993 und 1995, Dee 2005,). Bei Schrägfrakturen großer Hunde kommt außerdem die Kombination mit Zugschrauben in Betracht (Dee 2005). Bei jungen Hunden können nach Plattenosteosynthesen periostale Reaktionen entstehen, die vermutlich aufgrund von Sehnenirritationen zur vorübergehenden Beeinträchtigung der Gliedmassenfunktion führen (Lösslein 1982). Um die Beeinträchtigung der Strecksehnen zu reduzieren, können die Platten am 3. und 4. Metakarpal- bzw. Metatarsalknochen dorsal und am 2. und 5. Metakarpal- bzw. Metatarsalknochen medial bzw. lateral angebracht werden (Dee 2005). Die Platten sollten zudem möglichst klein sein, um eine physiologische Bewegung der darüber liegenden Sehnen zu ermöglichen (Manley 1981). Die Veterinärzuschneideplatten/Veterinary Cuttable Plate (VCP-Synthes) reduzieren Weichteilreizungen aufgrund ihres niedrigen Profils. Sie können zudem auf die gewünschte Länge zugeschnitten werden, sind leicht zu biegen, haben viele Schraubenlöcher, sind relativ günstig, können darüber hinaus in Sandwich-Technik angewandt werden und ermöglichen außerdem die Verwendung von mehr Schrauben pro Längeneinheit als konventionelle Platten (Gentry 1993, Dee 2005). Diese Eigenschaften machen sie zu einem idealen

Implantat für die Behandlung von Mittelfußfrakturen (Piras und Guerrero 2012). Die VCP sowie Platten mit Verriegelungssystem (LCP (Locking Compression Plate/Synthes), Fixin (Traumavet), PAX (Securos) oder ALPS (Advanced Locking Plates/Kyon)) eignen sich zudem für den minimal-invasiven Zugang (Piras und Guerrero 2012).

Da zum einen nicht immer alle Frakturen operativ stabilisiert werden können und zum anderen die Implantate bei Bewegung eine Sehnenirritation nach sich ziehen können, ist auch nach der Plattenosteosynthese eine zusätzliche Verbandsbehandlung indiziert (Lösslein 1982). Insgesamt wurden mit der Plattenosteosynthese gute Ergebnisse erzielt (Manley 1981, Lösslein 1982, Brüse 1989, Gentry 1993, Muir und Norris 1997, Kapatkin et al. 2000, von Werthern 2000).

Ein modifizierter Typ II Fixateur externe (bilateral, uniplanar) unter Verwendung einer Epoxid-Verkittung wurde für diaphysäre Frakturen aller vier Metakarpal- und Metatarsalknochen bei Katzen und Hunden beschrieben. Das Epoxid ermöglicht die Verwendung einer verschiedenen Anzahl von Bohrdrähten in mehreren Ebenen im distalen Bereich des Mittelfußes, was der anatomischen Situation in dieser Region Rechnung trägt. Auch wenn die korrekte Reposition ideal für die Frakturheilung ist, kann mit dieser Technik und trotz Achsenabweichungen und Synostosen ein gutes klinisches Resultat erzielt werden und schwerwiegende Komplikationen sind selten. Zudem erlaubt die vorgestellte Methode im Vergleich zur weiter unten beschriebenen Technik von Risselada et al. eine normale Gelenk- und Gliedmassenbewegung während der Heilungsperiode. Sie ist außerdem auf alle Patientengrößen sowie bei offenen Frakturen anzuwenden und ein Verband ist nicht nötig (De La Puerta 2008).

Der „External skeletal traction device“ ist bei der Behandlung distaler Frakturen bei Hunden indiziert. Das Prinzip wurde aus der Humanmedizin übernommen und dient der Frakturposition und deren Aufrechterhaltung. Zwei bis drei Bohrdrähte werden in den Radius bzw. die Tibia platziert (Fixateur externe Typ II). Der Fixateur externe sowie bilaterale und distale Pins werden mittels Meynardklammern zu einem Rahmen („walking“ bar) verbunden. Die Spannung zwischen dem Rahmen und der distalen Gliedmaße wird über Cerclagedrähte erzeugt. Diese werden entweder direkt durch die Phalanges proximales 3 und 4

oder indirekt um einen Bohrdraht durch die zentralen Zehenglieder geführt. Letzterer wird ebenfalls über Klammern am Rahmen befestigt. Die Methode verbessert die Achse in der mediolateralen und kraniokaudalen Ebene der meisten Hunde und geht mit guten klinischen Ergebnissen bei acht der elf behandelten Hunde einher. Das System stellt eine Alternative bei multiplen Frakturen dar, die sich nicht für eine Verbandsbehandlung oder für die offene Reposition und Fixation eignen, insbesondere bei Wunden, die häufig behandelt werden müssen (Risselada 2007).

Zugschrauben als alleinige Fixationsmethode haben sich bei langen Schräg- oder Spiralfrakturen bewährt (Anderson und Constantinescu 1993, Piermattei 1993). Wenn nötig kann zusätzliche Stabilität mit einer Neutralisationsplatte geschaffen werden (Dee 2005). Bei Schräg- und Spiralfrakturen können auch Cerclagedrähte verwendet werden (Anderson und Constantinescu 1993, Piermattei 1993). Jedoch ist Cerclagedraht als einzige Methode nicht ausreichend stabil und sollte nur in Verbindung mit anderen Techniken verwendet werden (Manley 1981).

2.3.3.3 Caputfrakturen

Der operativen Behandlung mittels Zugschrauben oder Drahtcerclagen ist im Hinblick auf das exzellente klinische Ergebnis der Vorzug zu geben. Dies gilt besonders für sportlich eingesetzte Hunde. Für die operative Behandlung zu kleine Fragmente werden exzidiert. Bei nicht dislozierten und stabilen Frakturen kann ein konservativer Therapieversuch unternommen werden, allerdings muss in der Regel mit Arthrosen gerechnet werden. Ist die Rekonstruktion der Gelenkfläche nicht erfolgreich gewesen oder gehen die sekundären Arthrosen mit Symptomen einher, ist insbesondere bei arbeitenden Hunden eine Amputation der Zehe im Zehengrundgelenk in Betracht zu ziehen (Anderson und Constantinescu 1993, Piermattei 1993, Probst und Millis 2003, Piras 2006).

2.3.3.4 Stressfrakturen

Stressfrakturen vom Typ 1 beim sportlich eingesetzten Greyhound werden mit Bewegungsrestriktion für vier Wochen und bis zu drei Monaten therapiert. Die Rückkehr in den Sport sollte langsam erfolgen. Bei Frakturen vom Typ 2 wird ein Schienenverband für 4-8 Wochen und die langsame Rückkehr zum Renneinsatz empfohlen. Frakturen vom Typ 3 können, je nach Fraktur, konservativ oder operativ (Zuschneideplatten, Zugschrauben, intramedulläre Bohrdrähte, Amputation) behandelt werden. Unabhängig von der Behandlungsmethode sollte eine Schienung über 4 Wochen und eine langsam aufbauende Belastung erfolgen (Dee 1985, Anderson und Constantinescu 1995). Vielleicht aufgrund der hohen Erwartungen an den Athleten werden Frakturen, die erfolgreich konservativ zu behandeln wären, beim Hochleistungstier besser operativ behandelt (Dee 2005).

2.3.4 Verbandsbehandlung

Alle Frakturen werden entsprechend der Behandlungsmethode, des Alters des Patienten und des Schweregrads der Frakturen bis zu 8 Wochen geschient und die Bewegungseinschränkung des Tieres dem Patientenbesitzer angeraten (Lösslein 1982, Piermattei 1993, Anderson und Constantinescu 1993, Dee 2005). Komplikationen eines Verbandes und regelmäßige Kontrollen werden damit am Mittelfuß durch die operative Therapie nicht vermieden (Kapatkin et al. 2000). Der Verband sollte regelmäßig bzw. in Abständen von 7-14 Tagen gewechselt werden (Dee 2005, Wernham und Roush 2010). Komplikationen einer Verbandsbehandlung müssen einkalkuliert werden und der Besitzer sollte angewiesen werden den Verband trocken und sauber zu halten sowie auf Anzeichen einer Schwellung oder Entzündung hin zu beobachten (Anderson und White 2000, Weinstein 2004). Traumatisch bedingte Serienfrakturen sollten im Hinblick auf ein erhöhtes Risiko für Syndesmosen nicht überlang mittels Verband stabilisiert werden (Dee 2005). Vor Beendigung der Verbandsbehandlung ist die Frakturheilung röntgenologisch zu kontrollieren. Nach Entfernung des Verbandes empfiehlt es sich die Bewegung für weitere drei bis vier Wochen einzuschränken und langsam zu steigern (Piermattei 1993, Probst und Millis 2003).

2.3.5 Implantatentfernung

Die Notwendigkeit der Entfernung orthopädischer Implantate wird kontrovers diskutiert (Bellenger et al. 1981, Kapatkin et al. 2000, Wernham und Roush 2010). Die möglichst frühzeitige Implantatentfernung nach klinischer Konsolidierung wird grundsätzlich (Manley 1981) und im Besonderen bei intramedullären Pins mit distalem Überstand empfohlen (Piermattei 1993, Probst und Millis 2003). Platten werden in der Regel drei bis vier Monate postoperativ entfernt. Schrauben können belassen werden, solange sie keine Beschwerden verursachen (Piermattei 1993). Aktuelle Daten, um diese allgemein akzeptierten Richtlinien zu unterstützen, existieren nicht (Kapatkin et al. 2000). Daher fordern einige Autoren Implantate ohne klinische Beeinträchtigung zu belassen (Wernham und Roush 2010). Die Implantatentfernung stellt einen Nachteil der operativen Behandlung von Mittelfußfrakturen dar. Sie geht einher mit einer verlängerten Heilungsdauer, einer erneuten Störung der Blutversorgung, zusätzlichen Kosten, einer potentiellen Refraktur und erneutem postoperativem Schmerz (Bellenger 1981, Kapatkin 2000). Im Gegensatz hierzu kann die Entfernung der Implantate chronische Beschwerden vermeiden (Wernham und Roush 2010).

2.3.6 Komplikationen

Komplikationen bei der Behandlung von Mittelfußfrakturen stellen verzögerte Heilung, Schwellung, Fistelbildung, Refraktur, Achsenabweichung, Pseudarthrosen, Implantatlockerung, -biegung und -wanderung, Osteomyelitis, Synostosen, Ankylosen in den Articulationes tarsometatarsae, Arthropathia deformans sowie Lahmheit dar und finden sich mit unterschiedlicher Ausprägung sowohl nach konservativer als auch nach operativer Therapie (Manley 1981, Lösslein 1982, Muir und Norris 1997, Kapatkin et al. 2000, Zahn et al. 2006, Degasperi et al. 2007). Da alle Patienten einen Verband erhalten (Lösslein 1982, Piermattei 1993), müssen verbandassoziierte Komplikationen ebenfalls einkalkuliert werden (Anderson und White 2000, Weinstein 2004).

2.4 Behandlungsergebnisse

Einer größeren und sehr frühen Studie zufolge ist „die Mehrzahl der Mittelfußbrüche bei Hund und Katze konservativ gut versorgt“. „Die konservative Therapie erwies sich bei Frakturen des Schaftes und Epiphysiolysen einzelner und zweier Mittelfußknochen sowohl beim Hund als auch bei der Katze in der Regel als erfolgreich. Beim jungen Hund waren Brüche dreier und vierer Mittelfußknochen unter Verband gut verheilt. Nicht dislozierte Quer-, Schräg- und Splitterbrüche der Basis heilen beim Hund nach konsequenter Verbandsbehandlung unter Arthrosenbildung mit funktionell befriedigendem Ergebnis. Die operative Fixation hingegen, korrekte und schonende Technik vorausgesetzt, stellt eine wertvolle Ergänzung der konservativen Therapie dar. Die Osteosynthese hat ihre Berechtigung bei gedeckt nicht reponierbaren Frakturen, insbesondere bei Serienbrüchen sowie bei Abrissfrakturen der Basis und bei Frakturen des Caputs“ (Lösslein 1982).

Im Kontrast hierzu stellt eine andere und ebenfalls sehr frühe Untersuchung unbefriedigende Ergebnisse bei der Behandlung von distalen Gliedmaßenfrakturen bei Hunden sowohl bei konservativer Behandlung (54 %) als auch bei der operativen Therapie (85 %) fest. Entsprechend dieser Untersuchung sind der Dislokationsgrad und eine Gelenkbeteiligung maßgebliche Faktoren für ein schlechteres Endergebnis. Keinen Einfluss auf die Komplikationsrate hingegen hatte die Anzahl oder die Lokalisation der Frakturen und ob es sich um offene oder geschlossene Brüche handelte. Der Autor empfiehlt, eine fachgerechte Technik vorausgesetzt, die chirurgische Versorgung artikulärer und dislozierter Frakturen mit anschließender Implantatentfernung (Manley 1981).

Zu einem ähnlichen Ergebnis gelangt eine weitere Arbeit bei Hunden. In dieser lag ein hoher Dislokationsgrad (87 %) vor. Die operative Behandlung verbesserte Achsenabweichungen im Vergleich zur konservativen Therapie. Die Empfehlung ist daher ebenfalls die chirurgische Versorgung dislozierter und besonders von Mehrfachbrüchen (Muir und Norris 1997). Leider wurde das röntgenologische Ergebnis beider Behandlungsformen nicht klinisch bewertet (Kapatkin et al. 2000).

Im Gegensatz hierzu zeigte eine aktuellere Untersuchung bei Hunden, dass die Anzahl der gebrochenen Mittelfußknochen, ihr Dislokationsgrad und der Frakturtyp keinen statistisch signifikanten Einfluss auf das Behandlungsergebnis haben. In dieser Studie wiesen 44 % der konservativ und 23 % der operativ behandelten Mittelfußknochen ein unbefriedigendes Ergebnis auf. Die Schlussfolgerung der Autoren: Die allgemein gültigen Behandlungsempfehlungen der Veterinärmedizin sind denen der Humanmedizin sehr ähnlich. Es liegt der Verdacht nahe, dass die Richtlinien aus der Humanmedizin abgeleitet wurden und eventuell für den tiermedizinischen Patienten keine Gültigkeit besitzen. Sie empfehlen daher einen konservativen Ansatz (Kapatkin et al. 2000).

Die Prognose für den Greyhound im Hinblick auf eine Rückkehr in den Leistungssport ist in der Regel als vorsichtig zu bewerten (Bellenger et al. 1981). Hierbei ist aber zu berücksichtigen, dass die Anforderungen an die Heilung bei Arbeitshunden ungleich höher sind als beim Haushund, da der Heilungserfolg beim Rennhund am uneingeschränkten Renneinsatz bemessen wird (Werham und Roush 2010).

2.5 Ganganalyse

Die apparative Ganganalyse beim Hund stellt im Vergleich zur subjektiven Lahmheitsdiagnostik ein objektives und quantitatives Verfahren für die Diagnostik einer Lahmheit dar und wird daher häufig zur Erfolgskontrolle im Rahmen retrospektiver Untersuchungen zur Evaluierung chirurgischer Methoden eingesetzt (Off und Matis 1997, DeCamp 1997, Theyse et al. 2000, Budsberg 2002). In der Veterinärmedizin werden drei Modalitäten unterschieden: Kraftanalyse (Kinetik), Bewegungsanalyse (Kinematik) und Standanalyse („paw pressure analysis“) (Weigel et al. 2005). Der heutige Wissensstand allerdings lässt nur eine vorsichtige Interpretation zu (Senn 1994).

Zwei ganganalytische Untersuchungen widmen sich den Pfoten und genauer der Kraftverteilung auf die Ballen (Besancon et al. 2004, Souza et al. 2013). Demnach sind zwar bei Greyhounds und beim Labrador Retriever die Ballen der 3. und 4. Zehe hauptgewichttragend, die vertikale Kraft wird jedoch gleichmäßiger verteilt als bisher angenommen und die 5. Zehe, der Metakarpal- sowie Metatarsalballen übernehmen einen nicht unwesentlichen Anteil. Die Autoren schlussfolgern, dass die bisher gültigen Behandlungsrichtlinien zur konservativen Therapie eventuell gelockert werden können, sodass nicht der 3. und 4., sondern insgesamt zwei intakte Metakarpal- bzw. Metatarsalknochen für die Schienung ausreichend sein könnten (Besancon et al. 2004). Die Resultate einer zweiten Arbeit erweitern den Kenntnisstand der Kraftverteilung auf die Ballen um den Deutschen Schäferhund und ergeben, dass bei dieser Rasse der Metakarpalballen mehr Last übernimmt als die Zehenballen (Souza et al. 2013).

3 Veröffentlichung Nr.1

3.1 Publikation

Titel: Long-term prognosis of metacarpal and metatarsal fractures in dogs - A retrospective analysis of medical histories in 100 re-evaluated patients.

Autoren: Matthias Kornmayer, Klaus Failing, Ulrike Matis

Zeitschrift: Journal of Veterinary Comparative Orthopaedics and Traumatology (<http://www.schattauer.de/de/magazine/uebersicht/zeitschriften-a-z/vcot/issue/special/manuscript/20500/show.html>)

Long-term prognosis of metacarpal and metatarsal fractures in dogs

A retrospective analysis of medical histories in 100 re-evaluated patients

M. Kornmayer¹, K. Failing², U. Matis¹

¹Veterinary Surgery Clinic, Ludwig-Maximilians-University of Munich, Germany

²Unit for Biomathematics and Data Processing, Faculty of Veterinary Medicine, Justus-Liebig-University of Giessen, Giessen, Germany

Keywords: Dog, fracture, treatment, metacarpus, metatarsus, conservativetreatment, surgical treatment, prognosis

Running title: Metacarpal and metatarsal fractures in dogs

Summary

Objectives: Lameness after metacarpal and metatarsal fractures in dogs is reported to occur with an incidence of 18 % to 70 %. On the basis of long-term results, the prognosis of these injuries was re-evaluated retrospectively.

Methods: Medical records of 100 dogs with complete clinical and radiographic follow-up examinations after an average of 4 years (4 months-14 years) were evaluated. According to their treatment, patients were allocated to 3 groups (Group 1 = conservative, Group 2 = surgical, Group 3 = combined). Assessment included complications during the healing period and the final radiographic and functional outcome, which was statistically compared for differences between groups (Fisher exact test, exact Wilcoxon-Mann-Whitney test). Further, risk factors for each bone were analyzed (stepwise, multiple logistic regression model). In 15 dogs, kinetic data (relative stance phase, peak vertical force and impulse) were investigated by computed gait analysis.

Results: Complications were observed in 11 of 67 (16 %) conservatively, in 3 of 25 (12 %) surgically, and in 3 of 8 (37 %) conservatively and surgically treated dogs. Overall frequency of lameness evaluated by visual clinical assessment was 3 %. Frequency of osteoarthritis and nonunion was also low, accounting for 3 % and 1 % respectively, although healing of mainly single bone fractures resulted in malunions in 14 % radiographically. Synostoses were found in 19 % of patients and significantly more frequent in surgically treated dogs. A higher risk of complications was identified for metatarsal compared to metacarpal fractures. Further, an increased risk for complications was detected for a higher degree of displacement and instability.

Clinical significance: According to the long-term results found in this study, the prognosis for metacarpal and metatarsal fractures is better than reported in the literature to date. With the reservation that more severe injuries are generally treated surgically, besides synostosis, no statistically significant difference could be detected between conservative and surgical treatment.

Introduction

Metacarpal and Metatarsal fractures in dogs are reported to occur with an incidence of up to 11.9 % of all fractures (1, 2). They are diagnosed in dogs of all ages but are most frequent in young and male dogs. The most common causes are motor vehicle accidents and falls (2–4), except in the case of racing greyhounds, in which stress fractures of single bones (left metacarpal 5, right metacarpal 2, right metatarsal 3) typically occur (5–7). Concurrently, severe soft tissue injuries of the paw and fractures of the phalanges, the pelvis, and the long bones are reported (3, 4). Metacarpal and metatarsal fractures are classified according to their anatomical location, as fractures of the base, the body, the head, and the physis (3). There is an almost equal distribution of fractures of the metacarpus and metatarsus (8), although a tendency towards a greater frequency of fractures of the metacarpus has been reported (4). Most metacarpal and metatarsal fractures are closed, transverse, or oblique fractures (3, 4).

Treatment options for metacarpal and metatarsal fractures include external coaptation using a variety of splint types (3, 4, 8, 9) and various surgical methods such as intramedullary pinning (3, 10–15) and their modifications (16, 17). In addition, the use of tension bands, lag screws (5, 11, 18), bone plates (3, 19, 20), and external skeletal fixator (21–23) has been described. Indications for the treatment of these fractures that have been described in the literature are conflicting (24). However, there is agreement on the conservative management of mildly displaced, single-bone fractures (3, 4, 8, 10, 11, 18). Surgical therapy is recommended for cases with more than two fractured bones, and when the main weight-bearing third and fourth metacarpal and metatarsal bones are affected. Furthermore, surgical therapy is also recommended in articular fractures, avulsion fractures of the base, in severely displaced or open fractures, and in large breeds and working dogs (3, 4, 8, 10, 11).

A high incidence of lameness (18–73 %) after conservative and surgical treatment of metacarpal and metatarsal fractures is reported in the literature (Table 1). Kapatkin and colleagues therefore questioned the validity of these veterinary guidelines and hypothesized that they are extrapolated from the human literature and are not accurate for dogs - in particular, their conclusions were proposed because a significant difference between conservative and surgical treatment was not noted (9). Long-term studies that compare the different results obtained with conservative and surgical therapy for the treatment of metacarpal and metatarsal fractures are lacking (24).

This study therefore aimed to assess the long-term results of, and the validity of indications for, the conservative and surgical treatment of metacarpal and metatarsal fractures in dogs.

Materials and methods

Study design

The medical records and radiographs of all dogs with metacarpal and metatarsal fractures that were presented to the Clinic for Small Animal Surgery and Reproduction at the Ludwig-Maximilians-University in Munich from 1990 to 2007 were retrieved from the medical record database. Complete medical records and radiographs within a minimum of 4 months follow-up met the inclusion criteria of this retrospective study.

Fracture data

The information regarding age and body weight of the dogs as well as the cause of trauma was extracted from the medical records. After reviewing orthogonal radiographs, the fractures were classified by one veterinarian (MK) according to the affected bones (metacarpals 1–5, metatarsals 1–5), localization (base, body, physis, head), fracture type (fissure or greenstick fracture, transverse, oblique, butterfly fragment, comminuted, articular) and the degree of displacement (grade 1, < 50 % of the diameter of the bone; grade 2, 50–100 %; grade 3, > 100 %).

Fracture treatment

The fractures of each case were further classified into 3 groups, according to the method of treatment: Group 1 = conservative, Group 2 = surgical, Group 3 = combined treatment. Outcome was evaluated at an average of 4 years (minimum 4 months, maximum 14 years) post trauma. The dogs had been re-examined several times at the same clinic; therefore, early complications which were seen during the healing period could also be detected. Final assessment was based on the last radiographic and functional results available.

1. Complications and radiographic outcome

Early complications were categorized as delayed union, osteomyelitis and implant failure. Two radiographic views of both forelimbs or hindlimbs were available for comparison. Radiographs of the last follow-up examination were interpreted by two investigators (MK,

KZ*). Fracture healing was assessed for signs of malunion, osteoarthritis, nonunion and synostosis.

2. Functional outcome

Clinical assessment: Lameness was graded as present or absent. In 16 dogs (11 dogs of Group 1, 3 dogs of Group 2, and 2 dogs of Group 3), clinical examination had been performed by various veterinarians and the information extracted from the medical records, whereas 84 dogs were assessed by one investigator (MK).

Computed gait analysis: 15 dogs were evaluated by computed gait analysis owing to patient or client compliance (Table 2-4). Vertical ground reaction forces were measured on a treadmill with four integrated force plates (Kistler®) (25). Measurements were performed with a mean treadmill velocity of 0.6 m/s. Only gaits in which each paw was placed on one force plate and a minimum of 5 valid trials were used for analysis. Relative stance phase (% total step), peak vertical force (% body weight) and impulse (% BW*s) were derived using Motion Analysis Software (SIMI©) and normalized by the mass of each dog. Data were analyzed for lameness using the symmetry index (26) and a cut-off of 10 was determined based on healthy dogs at our institution (unpublished data). Examination was performed by one veterinarian (MK) and interpreted independently by two clinicians (MK, SS*).

3. Data analysis

In dogs with fractures of three or four bones ($n = 49$) the groups were compared for the frequency of complications during the healing period, as well as the radiographic and functional results by means of the generalized Fisher exact test (Fisher-Freeman-Halton-test). The Pearson chi-square test couldn't be used because the minimum estimated expected values were too small. For ordinal scaled variables the group comparison was done by the exact Wilcoxon-Mann-Whitney test. For the identification of risk factors for complications, several influencing factors (treatment group, body mass, age, cause of injury, open or closed fracture, concurrent injury of the same limb or paw, number of affected bones, fracture type, fracture location, degree of displacement, therapy, complications (bandage associated, delayed union, nonunion, osteomyelitis, implant loosening)) in relation to several target variables (complications, radiographic outcome, lameness) were analyzed for their possible association for each bone (first to fifth) using a stepwise, multiple logistic regression

model. Due to the high number of possible influencing factors the stepwise version of the procedure was chosen.

Subsequently, to increase the chance of identifying possible associations, the central (third and fourth) and peripheral (second and fifth) bones were considered together to increase the fraction of positive events.

A commercially available statistical software package was used for the analysis (27).

A significance value of $\alpha = 0.05$ was used. Because this was a retrospective study with a high number of variables, the results were assessed as an exploratory data analysis implicating no exact control of the global significance level.

Results

From 1990-2007, a total of 175 dogs with Mc or Mt fractures were presented to our clinic. From these cases, 100 dogs satisfied the inclusion criteria by means of having available complete clinical and radiographic follow-up examinations for a minimum of 4 months. 36 animals had already died or were euthanized because of other reasons, 29 were lost to follow-up and 10 had incomplete medical records.

1. Fracture data

The most common histories of the dogs, included in the study were motor vehicle accidents (33 %), followed by jumps or falls (21 %), unknown trauma (21 %), falling objects (11 %), dog interactions (6 %), being stepped on by a horse or owner (5 %), and bites (3 %).

37 % of the animals were less than 1 year old and 41 % were younger than 2 years at the time of presentation. Age ranged from 1 month to 18 years (mean: 2.6 years). Body mass varied between 2.5 and 58.3 kg (mean: 18.7 kg). Small dogs (<10 kg) were slightly more common (39 %) than medium-sized (10–30 kg) (34 %) and large breeds (>30 kg) (27 %).

Of the patients, 51 (51 %) had injured forelimbs, 48 (48 %) had injured hind limbs, and in one dog (1 %) both hind legs were affected. The metacarpus was more frequently affected in small breed dogs (54 %) and in large breed dogs (59 %). In medium-sized dogs the metatarsus (59 %) was more commonly involved. In total, 246 fractured bones were counted, of which 119 were metacarpal and 127 were metatarsal fractures. Fractures of one or two bones (57 %) dominated in the metacarpus, and fractures of three or four bones (54 %) were slightly more frequent in the metatarsus. The third metacarpal and metatarsal bones were most commonly fractured. The first metacarpal and metatarsal bones, in contrast, were

fractured in just three dogs. Most fractures affected the body (metacarpus 86 %, metatarsus 84 %), followed by the base (metacarpus 6 %, metatarsus 14 %) and the physis (metacarpus 7 %, metatarsus 2 %). Fractures of the head were rare (metacarpus 1 %). More than 80 % (metacarpus 81 %, metatarsus 87 %) were transverse and oblique fractures. Butterfly fragments and comminuted fractures were present in 16 % of metacarpal and in 9 % of metatarsal fractures. 55 % of the fractures were displaced grade 1 (< 50 % of the diameter of the bone), 31 % were displaced grade 3 (> 100 % of the diameter of the bone) and 14 % were displaced grade 2 (50-100 % of the diameter of the bone).

Closed fractures (84 %) were predominantly observed. Concurrent injuries, mainly caused by car accidents, were common (47 %). Soft tissue injuries and phalangeal fractures of the same paw were most frequent.

2. Fracture treatment

According to treatment, the dogs were allocated to three groups:

Group 1: Conservative treatment

67 Patients (68 limbs) with single, mildly displaced or non-reconstructable multiple bone fractures, as well as dogs with fractures of the physis and with multiple bone fractures, which could be reduced under general anesthesia and stabilized by external coaptation, were treated conservatively (Table 2). Success was documented radiographically (Fig.1). In open fractures, wounds were debrided, and secondary wound healing achieved if closure was not possible. For an average of 6 weeks (range: 4-12 weeks) a synthetic splint was applied for immobilization. Bandages were changed weekly.

Group 2: Surgical treatment

Internal fixation was performed in 25 dogs (25 limbs) with severely displaced fractures of single bones, in reconstructable articular fractures, and in multiple bone fractures, especially when the third and fourth bones were affected (Table 3). Transverse and oblique fractures of the body were mainly treated by 'Dowel' pinning, as described in cats (12, 15), or using standard bone plates (Fig. 2). Other, less frequently used techniques were lag screws in long oblique fractures and lag screws or tension band wires in fractures of the base. Furthermore, an external skeletal fixator was used in two patients with multiple, open fractures. In one

patient with multiple fractures at the metatarsal base and involvement of the tarsometatarsal joints, crossed pins were used for fixation. Finally, in two patients proximal metacarpal fractures were stabilized with a medial or lateral bone plate. A modified Robert-Jones bandage, which was additionally stabilized with crepe paper was applied for an average of 6 weeks (range: 4-8 weeks) postoperatively. Bandages were changed weekly.

External skeletal fixators and the majority of bone-plates were removed when healing was radiographically diagnosed. In the other cases, implants were removed only when there was implant loosening or soft tissue reaction.

Group 3: Combined surgical and conservative treatment

In 8 dogs (8 limbs) with multiple fractures, not all of the fractured bones were surgically stabilized, because of comminution, too short fragments, or skin wounds (Fig. 3). In these cases, additional support of the non-repaired fractured bones was provided by external coaptation similar to patients in Group 1.

All owners were advised to restrict their dog's activity to confinement indoors and leash walking for 6 weeks or until healing was radiographically completed.

Patient and relevant fracture data, complications, radiographic and functional outcome are provided in detail in Appendix Tables 1-3 online.

Complications and radiographic outcome

Group 1: 2 out of 67 dogs showed radiographic signs of delayed unions (metatarsal 4 and metatarsals 2-5). Furthermore, 10 dogs had bandage-associated problems such as dermatitis, erythema, and rub sores which required treatment but did not impair the final results.

Group 2: 3 out of 25 patients developed early complications. Two dogs developed osteomyelitis and implant loosening. One of these had open shaft fractures of 2-5 metatarsal bones treated with 'Dowel' pinning. The other patient had fractures of the bases of the 2-5 metatarsal bones that were stabilized with crossed pins. The fractures healed, but malunion occurred and resulted in permanent lameness. In the third dog, open fractures of metatarsals 2-5 had been treated by an external skeletal fixator. In this case, radiographic signs of delayed union were noted without functional impairment at the latest follow-up.

Group 3: 3 out of 8 dogs exhibited complications. In 2 dogs implant loosening was observed without affecting fracture healing. In both patients the second metacarpal was treated with a bone plate, and the third bone was treated conservatively. In the third dog delayed union occurred after open fractures of 2-5 metatarsal bones. Over-sized bone plates were used for fracture repair in 2-4 metatarsals. To avoid nonunion, additional surgery was required, and implants of adequate size and cancellous bone autograft were used.

Malunions were seen in 9 dogs of Group 1 (Fig. 4), in 3 dogs of Group 2, and in 2 dogs of Group 3. In Group 1, malunion occurred in two thirds of fractures with four bones and in 3 cases with a single bone affected. In Groups 2 and 3, malunions were identified after early complications ($n = 3$) and in untreated fractures of the second and fifth metatarsals. Osteoarthritis was seen in 2 dogs of Group 1 (open fracture of metacarpal 2, fracture of the base of metacarpal 2/3) and in 1 dog of Group 3 (fracture of the base 2/3) and was considered rare (3 %). Nonunion was present in just 1 dog (1 %) of Group 1, with fractures of the third to fifth metatarsal bones, and affected only one bone, which did not affect weightbearing and remained untreated. However, synostosis was a frequent finding. It was seen in 5 cases of Group 1, 3 dogs in Group 2 and 3 of 8 patients in Group 3. Synostoses occurred more frequently in the proximal half of the metacarpus and metatarsus and in combination with butterfly fragments and comminuted fractures.

Functional outcome

Clinical assessment: At the last recheck, 65 dogs of Group 1, 24 dogs of Group 2, and all dogs of Group 3 were free of lameness.

Lameness in Group 1 was caused by malunion in one dog, in which the distal fragment of the third metatarsal bone was too short for internal fixation. In another patient (dog 12), severe injury of the soft tissue envelope resulted in extensive osteoarthritis. In a dog of Group 2 with open fractures, implant loosening occurred and premature implant removal was necessary. Fractures healed, but malunion of the third bone had occurred.

Computed gait analysis: Kinetic data revealed differences in vertical ground reaction forces between the affected and the contralateral limb rated as lame in three dogs of Group 1 and in one dog of Group 2 (Table 5). In dog 12 (Group 1, see clinical assessment), osteoarthritis was most likely responsible for the functional impairment. In dog 46 (Group 1) with an open fracture of the second metatarsal and phalangeal fractures, degenerative joint disease of the ipsilateral hip joint had developed. The dog progressed to visually apparent lameness 1 year

after follow-ups, it was treated with total hip replacement, and became clinically unimpaired. Dog 57 (Group 1) with fractures of the third to fifth metatarsal had been rated clinically normal but computed gait analysis revealed lameness in the hind legs and also mild changes in the forelimbs. Radiographs other than those of the metatarsus were not available, because the owner declined further radiographic examination. The reason for this dog's gait abnormalities, therefore, could not be identified. In dog 16 of Group 2 with fractured metatarsal 2, which was stabilized using tension band wire fixation, tarsal subluxation was also present and treated with crossed pins, lag screws and tension band wire. In this case, concomitant tarsal trauma may have caused subtle lameness. As a result, computed gait analysis confirmed the visual clinical assessment in 12 unimpaired dogs and revealed lameness in three patients that did not have any visually apparent lameness.

Statistical results

A significantly higher incidence of synostoses was seen after surgery ($p < 0.0001$) (Table 6), when comparing the treatment groups 1-3 in terms of fractures of 3 or 4 metacarpal or metatarsal bones. Significant differences between the three groups could not be identified for complications ($p = 0.2913$), radiographic changes other than synostoses ($p = 0.2443$), and the functional outcome ($p = 0.5185$). The same results were found by comparing the treatment groups for the metacarpus and the metatarsus separately.

Looking at influencing factors and command variables, obviously more significant correlations for the second to fifth metatarsal bones were observed. According to the frequency of correlations, open, oblique and comminuted fractures, fractures of the base, moderate and severely displaced fractures (Table 7), and surgical therapy in general held an increased risk for complications, osteoarthritis, malunion, and synostosis.

Comparison of complications with command variables revealed that complications resulted in an increase of synostoses in all metatarsal bones and of malunion in the fifth metatarsal bone.

Combined analysis of the central (third and fourth) and peripheral (second and fifth) bones confirmed that open fractures and surgical intervention increase the risk for complications and that complications increase the risk for synostosis, osteoarthritis, malunion and nonunion. This again was more obvious for the metatarsus.

No correlation between potential influencing factors and lameness was detected, because lameness was rarely diagnosed.

Discussion

Our findings that metacarpal and metatarsal fractures are mainly caused by motor vehicle accidents and occur predominately in young animals are in agreement with the findings of other investigations (3, 4). These fractures in dogs were almost equally distributed on forelimbs and hindlimbs, were single bone fractures in one third of the patients, and were predominantly closed, mildly displaced, transverse, or oblique fractures of the body. In addition, in 49 % of our patients, three and four bones were affected, moderately or severely displaced (and therefore unstable) and in part associated with concurrent injuries of the paw. The fact that fractures in this region show a great heterogeneity - in that different number of fractured bones, and with large variation within single bone fractures regarding localization, fracture type, and degree of displacement - makes it difficult for retrospective studies to define significant guidelines for their treatment. At the same time, controlled, prospective, and randomized studies revealing evidence-based data are lacking. Therefore, retrospective studies may be still valuable.

Despite the large number of patients in our analysis compared with earlier studies, besides the higher incidence of synostosis in surgically and combined treated patients, no significant differences between conservative and surgical treatment could be detected.

In one previous study, in which 16 conservatively and 9 surgically treated dogs were rechecked 9 to 68 months after treatment, it was also found that there was no difference in the outcome (9). In addition, there was no significant influence regarding the number of affected bones, soft tissue injuries, location, type, and displacement of fractures. Only in terms of convalescence, which was reported to be 7 weeks for conservative and 12 weeks for surgically treated dogs, could a clear difference be noted.

Because of variable reevaluation periods, healing time could not be analyzed in our investigation. In contrast, we identified a higher risk for complications, osteoarthritis and synostosis in metatarsal bones and in open, comminuted and severely displaced fractures, which were more often treated by surgery. Although the statistical associations detected in this retrospective study should be considered as a result of an exploratory data analysis, they reflect our clinical experience.

Overall, the majority of metacarpal and metatarsal fractures can be treated successfully without the selected therapy significantly influencing the outcome. However, there are criteria making special treatment options more preferable.

Thus, conservative therapy using external coaptation is commonly favoured in the following situations:

- in minimally displaced fractures
- when only one or two bones are fractured
- when one of the two main weight-bearing or central bones is intact.

On the other hand, surgical intervention is usually preferred in the following situations:

- when displacement of fragments exceeds 50 % of the bone diameter
- when more than two bones or both central bones are fractured
- when the articular surface is affected
- in fractures of the base in the second and fifth metacarpal and metatarsal bones, which tend to valgus or varus displacement because of ligamentous insertion. In cases of concurrent carpal hyperextension injury, arthrodesis may be indicated in the carpus.

According to the present study, these empirical and oft repeated recommendations (3, 4, 8, 18) cannot be confirmed or refuted statistically. These guidelines have been crucial for the decision on treatment in our patients, albeit varying in some individual cases in response to a client's request.

Because the fractures in Groups 2 and 3 were more displaced and unstable, the similar outcome with Group 1 may be interpreted as an advantage for internal fixation. On the other hand, in surgically treated patients, there were complications and these tended to be more severe, which occurred during healing (Group 1, 11/67; Group 2, 3/25; Group 3, 3/8), although this did not influence the overall outcome. With an incidence of 1 % of nonunion (1 dog of Group 1), 3 % of osteoarthritis (2 dogs of Group 1 and 1 dog of Group 3), and 3 % of lameness graded by visual assessment (2 dogs of Group 1, 1 dog of Group 2), the outcome was considerably better than previously reported in the literature (3, 4, 8, 9), albeit 14 % of our dogs developed malunions (9 dogs of Group 1, 3 dogs of Group 2, and 2 dogs of Group 3) and synostoses were diagnosed in 19 % (5 dogs of Group 1, 9 dogs of Group 2 and 5 dogs of Group 3). Therefore, lameness and osteoarthritis are not inevitable consequences of malunions. Accordingly, and consistent with the findings of others, surgery may not be imperatively indicated in fractures which cannot be reduced completely (9) (Fig. 4). The presence of synostoses in multiple bone fractures and after surgical therapy may be related to the more severe initial trauma with soft tissue injury by displaced fracture ends and to periosteal irritation during surgical intervention. However, this radiographic finding was not clinically relevant, which is consistent with other reports (3, 12, 15).

In summary, according to our long-term results, metacarpal and metatarsal fractures in dogs reveal a good long-term prognosis. The discrepancies with earlier studies may in part be related to the subjective nature of visual assessment. This supposition is supported by the findings in 15 dogs which were additionally evaluated by computed gait analysis in our investigation. In three dogs, computed gait analysis revealed mild differences in vertical ground reaction forces between the affected and the contralateral limb which were not detected visually. Discrepancies between visual and computed assessment of lameness are common (28, 29), which confirms the requirement of objective data to support clinical studies. The contralateral limb may be of limited value as a reference, because forces may be shifted to the other limbs in cases of lameness. However, in sound dogs the contralateral limb may serve as a reference (30, 31).

Because studies comparing conservative and surgical therapy are underrepresented and long-term results for fracture management in a higher number of patients are still missing in the literature, this analysis was provided with the best possible transparency. Nevertheless, owing to the heterogeneity of groups regarding the number of patients and their injuries, and the retrospective, non-randomized assignment of patients to groups, detailed conclusions about specific methods of treatment cannot be drawn from our data.

***Acknowledgments:**

The authors thank Dr. Stefanie Steigmeier (SS) for her interpretation of the results of computed gait analysis and Dr. Klaus Zahn (KZ) for his interpretation of the radiographic outcome.

Correspondence:

Matthias Kornmayer

Klinik für Kleintiere-Chirurgie

Justus-Liebig-Universität Giessen

Frankfurter Straße 108, 35392 Gießen, Deutschland

Telefon 0049-641-99-38501

Fax 0049-641-99-38509

e-mail: Matthias.Kornmayer@gmx.de

References

1. Ness MG, Abercromby RH, May C, et al. A survey of orthopaedic conditions in small animal veterinary practice in Britain. *Vet Comp Orthop Traumatol* 1996; 9: 43-52.
2. Phillips IR. A survey of bone fractures in the dog and cat. *J Small Anim Pract* 1979; 20: 661-674.
3. Lösslein LK. Metakarpal- und Metatarsalfrakturen bei Hund und Katze. Behandlung und Ergebnisse in den Jahren 1975-1981. Diss Thesis, LMU Munich 1982.
4. Muir P, Norris JL. Metacarpal and metatarsal fractures in dogs. *J Small Anim Pract* 1997; 38: 344-348.
5. Hickman J. Greyhound injuries. *J Small Anim Pract* 1975; 16 : 455-460.
6. Bellenger CR, Johnson KA, Davis PE, Ilkiw JE. Fixation of metacarpal and metatarsal fractures in greyhounds. *Austr Vet J* 1981; 57: 205-211.
7. Ness MG. Metatarsal III fractures in the racing greyhound. *J Small Anim Pract* 1993; 34: 85-89.
8. Manley PA. Distal extremity fractures in small animals. *J Vet Orthop* 1981; 2: 38-48.
9. Kapatkin A, Howe-Smith R, Shofer F. Conservative versus surgical treatment of metacarpal and metatarsal fractures in dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2000; 13: 123-127.
10. Wind A. Fractures of the metacarpal (metatarsal) bones. *Proc. Am Anim Hosp Assoc* 1976; 43: 346.
11. Anderson MA, Payne JT, Constantinescu GM. Managing fractures and related injuries of the distal extremities in dogs and cats. *Vet Med* 1993; 88: 957-968.
12. Degasperis B, Gradner G, Dupre´ G. Intramedullary pinning of metacarpal and metatarsal fractures in cats using a simple distraction technique. *Veterinary Surgery* 2007; 36: 382-388.
13. Benedetti LT, Berry K, Bloomberg M. A technique for intramedullary pinning of metatarsals and metacarpals in cats and dogs. *J Am Anim Hosp Assoc* 1986; 22: 149-152.
14. Prabhugankar NV, Jayaprakash R, Ayyappan S, Ganesh TN, Suresh Kumar R. Surgical management of metacarpal fractures in a dog. *Indian J Anim Hlth* 2006; 45: 87-90.
15. Zahn K, Kornmayer M, Matis U. 'Dowel' pinning for feline metacarpal and metatarsal fractures. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2007; 20: 256-263.

16. Fitzpatrick N, Riordan JO, Smith TJ, et al. Combined intramedullary and external skeletal fixation of metatarsal and metacarpal fractures in 12 dogs and 19 cats. *Vet Surg* 2011; 40: 1015-1022.
17. Okumura M, Watanabe K, Kadosawa T, Fujinaga T. Surgical salvage from comminuted metatarsal fracture using a weight-bearing pin-putty apparatus in a dog. *Aus Vet J* 2000; 78: 95-98.
18. Early TD, Dee JF. Trauma to the carpus, tarsus, and phalanges of dogs and cats. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 1980; 10: 717-747.
19. Gentry SJ, Taylor RA, Dee JF. The use of veterinary cuttable plates: 21 cases. *J Am Anim Hosp Assoc* 1993; 29: 455-459.
20. Von Werthern CJ, Bernasconi CE. Application of the maxillofacial mini-plate compact 1.0 in the fracture repair of 12 cats / 2 dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2000; 13: 92-96.
21. De La Puerta B, Emmerson T, Moores AP, Pead MJ. Epoxy putty external skeletal fixation for fractures of the four main metacarpal and metatarsal bones in cats and dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2008; 21: 451-458.
22. Risselada M, Verleyen P, van Bree H, Verhoeven G. The use of an external skeletal traction device for distal fractures in the dog. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2007; 20: 131-135.
23. Seibert RL, Lewis DD, Coomer AR, Sereda CW, Royals SR, Leasure CS. Stabilisation of metacarpal or metatarsal fractures in three dogs, using circular external fixation. *New Zealand Vet J* 2011; 59: 96-103.
24. Wernham BGJ, Roush JK. Metacarpal and metatarsal fractures in dogs. *Compend Contin Educ Vet* 2010; 29: E1-7.
25. Off W, Matis U. Ganganalyse beim Hund. Teil 1 und 2. *Tierärztl Prax* 1997; 25: 8-14; 303-311.
26. Herzog W, Nigg BM, Read LJ, Olsson E. Asymmetries in ground reaction force patterns in normal human gait. *Med Sci Sports Exerc* 1989; 21: 110-114.
27. Dixon WJ, chief editor. *BMDP Statistical Software Manual*, Volume 1 and 2. Berkeley: University of California Press; 1993.
28. Quinn MM, Keuler NS, Lu Y, Faria MLE, Muir P, Markel MD. Evaluation of agreement between numerical rating scales, visual analogue scoring scales, and force plate gait analysis in dogs. *Vet Surg.* 2007 Jun; 36 (4): 360-367.

-
29. Evans R, Horstman C, Conzemius M. Accuracy and optimization of force platform gait analysis in Labradors with cranial cruciate disease evaluated at a walking gait. *Vet Surg.* 2005 Sep-Oct; 34 (5): 445-449.
 30. De Camp CE. Kinetic and kinematic gait analysis and the assessment of lameness in the dog. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 1997; 27 (4): 825-840.
 31. Jevens DJ, Hauptman JG, DeCamp CE, Budsberg SC, Soutas-Little RW. Contributions to variance in force-plate analysis of gait in dogs. *Am J Vet Res* 1993; 54: 612-15.

3.2 Abbildungen und Tabellen

Figure 1

Dorso-palmar and medio-lateral radiographic views in a four-year-old German Shepherd dog from Group 1 (dog 34) taken before (A), immediately after (B) and approximately 10 years after (C, D) external coaptation of diaphyseal fractures of Mc 2-5. The dog was not lame.

A



B



Figure 1

Dorso-palmar and medio-lateral radiographic views in a four-year-old German Shepherd dog from Group 1 (dog 34) before (A), immediately after (B) and approximately 10 years after (C, D) external coaptation of diaphyseal fractures of Mc 2-5. The dog was not lame.

C

D



Figure 2

Dorso-plantar radiographic views in a two-year-old German Shepherd dog from Group 2 (dog 24) with fractures of Mt 2-5 pre-operatively (A) and 1 year after treatment with standard bone plates. The dorso-plantar and medio-lateral radiographic views taken nine years after treatment (C, D) revealed synostosis between Mt 2-3. The dog was not lame.

A

B



Figure 2

Dorso-plantar radiographic views in a two-year-old German Shepherd dog from Group 2 (dog 24) with fractures of Mt 2-5 pre-operatively (A) and 1 year after treatment with standard bone plates. The dorso-plantar and medio-lateral radiographic views taken nine years after treatment (C, D) revealed synostosis between Mt 2-3. The dog was not lame.

C

D



Figure 3

Dorso-plantar views in a 2 year old German Sheperd dog of Group 3 (dog 8) with fractures of Mt 2-5 and a lateral wound pre-operatively (A) and post-operatively (B) after 'Dowel' pinning of Mt 2-4. Mt 5 was immobilized by external coaptation. The dorso-plantar and medio-lateral views taken 8 months later (C, D) show synostosis between Mt 2-5 and malunion of Mt 5. The dog was not lame.

A

B



Figure 3

Dorso-plantar views in a 2 year old German Sheperd dog of Group 3 (dog 8) with fractures of Mt 2-5 and a lateral wound pre-operatively (A) and post-operatively (B) after 'Dowel' pinning of Mt 2-4. Mt 5 was immobilized by external coaptation. The dorso-plantar and medio-lateral views taken 8 months later (C, D) show synostosis between Mt 2-5 and malunion of Mt 5. The dog was not lame.



Figure 4

Dorso-plantar radiographic views in a 6 year old mixed breed of Group 1 (dog 66) with proximal fractures of Mt 2-5 before (A, B) and immediately after external coaptation (B). The follow-up radiographs in both views taken approximately 2 years later show a valgus deformity of Mt 2-5. The dog was not lame.

A

B



Figure 4

Dorso-plantar radiographic views in a 6 year old mixed breed of Group 1 (dog 66) with proximal fractures of Mt 2-5 before (A, B) and immediately after external coaptation (B). The follow-up radiographs in both views taken approximately 2 years later show a valgus deformity of Mt 2-5. The dog was not lame.

C

D



Table 1

Overview of the outcome after conservative and surgical treatment of metacarpal and metatarsal fractures of dogs in the literature

author	period	patients	follow-ups	cons./surgical	observation time	outcome / lame			
						cons.	%	surgical	%
Lösslein ³	1975–81	178	96	69/27	2–72 months	15	22	12	44
Manley ^{**8}	1978–80	35	31	21/10	4–26 months	10	48	7	70
Kapatkin ⁹	1986–96	25	19	10(16)/9	9–68 months	7	44	2	22
Muir ⁴	1987–96	37	25	14/11	n.r.*	n.r.	n.r.	2	18
Summe	1975–96	275	171	114/57	2–72 months	32	28	23	40

* n.r. = not reported

** Authors: From this study we included combinations of metacarpal/metatarsal and phalangeal fractures and excluded phalangeal fractures

^{3, 4, 8, 9} References

Appendix Table 2

Group 1 (conservative treatment). Synopsis of patients, fracture data, radiographic and functional outcome in 67 dogs with 68 injured limbs

patient			fracture					therapy		result			
dog	kg	age (yrs)	o	bone	type	location	displ.	method	compl.	recheck (yrs)	radiogr.	lame	gait analysis
1	9.3	0.5	-	Mc2	t	3	1	EC	-	13.6	0	-	-
2	15.6	0.5	-	Mc2	o	4	1	EC	-	7.1	0	-	-
3	58.3	0.9	-	Mc2	t	2	1	EC	-	8.6	0	-	-
4	34.7	0.2	+	Mc5	t	2	2	EC	-	0.5	0	-	-
5	37.5	0.8	-	Mc4	t	2	1	EC	rub sore	7.8	0	-	-
6	6.3	3.9	-	Mc5	t	2	1	EC	-	0.8	0	-	-
7	2.5	4.7	-	Mc4	o	2	1	EC	-	1.4	0	-	-
8	26.3	2.9	+	Mc5	c	2	2	EC	-	8.8	0	-	-
9	25.3	6.4	-	Mc5	t	2	1	EC	-	9.6	m	-	-
10	34.7	6.1	-	Mc2	c	2	1	EC	-	0.4	0	-	-
11	27.2	3.1	-	Mc1	t	2	1	EC	-	0.9	0	-	-
12	22.8	5.6	+	Mc2	o	2	1	EC	-	3.5	oa,s	+	+*
13	17.1	0.5	-	Mc2/3	t/t	2/2	1/1	EC	erythema	9.0	0/0	-	-
14	31.2	0.5	-	Mc4/5	c/c	2/2	1/1	EC	-	0.5	0/0	-	-
15	32.3	0.2	-	Mc3/4	t/t	2/2	1/1	EC	-	1.0	0/0	-	-
16	3.9	5.3	+	Mc3/5	t/t	2/2	1/2	EC	-	7.4	0/0	-	-
17	26.3	3.4	+	Mc2/3	c/t	2/2	1/1	EC	-	2.5	0/0	-	+°
18	22.5	2.2	-	Mc4/5	c/c	2/2	1/1	EC	-	4.7	s/s	-	-
19	12.1	4.5	+	Mc2/3	c/c	2/2	1/1	EC	-	10.4	0/0	-	-
20	3.5	0.4	-	Mc3/4/5	t/t/t	2/2/2	1/2/3	EC	-	0.5	0/0/0	-	-
21	9.3	0.9	-	Mc3/4/5	t/t/t	2/2/2	1/2/1	EC	-	14.1	0/0/0	-	+°
22	18.3	0.2	-	Mc3/4/5	t/t/fg	2/2/2	2/1/1	EC	-	12.2	0/0/0	-	-
23	34.2	0.2	-	Mc2/3/4	fg/t/t	2/2/2	1/1/1	EC	-	7.3	0/s/s	-	+°
24	11.2	0.1	-	Mc2/3/4	t/t/t	3/2/2	1/1/2	EC	-	2.7	0/0/0	-	-
25	38.0	0.3	-	Mc2/3/4	t/fg/fg	2/2/2	1/1/1	EC	-	0.9	0/0/0	-	-
26	35.0	2.6	-	Mc3/4/5	c/c/t	2/1/2	2/1/1	EC	-	1.5	0/0/0	-	-
27	4.1	0.2	-	Mc2/3/4/5	t/t/t/t	2/2/2/2	1/1/1/1	EC	-	0.6	0/0/0/0	-	-
28	3.2	0.3	-	Mc2/3/4/5	o/t/t/t	2/2/2/2	1/2/2/3	EC	-	0.7	0/0/0/0	-	-
29	8.8	0.2	-	Mc2/3/4/5	t/t/t/t	3/2/2/2	1/1/1/2	EC	-	12.2	0/0/0/0	-	-
30	6.3	0.5	-	Mc2/3/4/5	t/t/t/t	3/3/3/3	1/1/2/1	EC	-	9.7	0/0/0/0	-	+°
31	12.3	0.2	-	Mc2/3/4/5	t/t/t/t	3/2/2/2	1/2/2/1	EC	-	7.1	0/0/0/0	-	-
32	10.7	0.3	-	Mc2/3/4/5	t/t/t/t	2/2/2/2	2/1/3/3	EC	-	3.6	0/0/0/0	-	-
33	33.0	0.4	-	Mc2/3/4/5	t/t/t/t	2/2/2/2	1/1/1/1	EC	-	0.3	0/0/0/m	-	-
34	38.2	4.4	-	Mc2/3/4/5	c/c/c/c	2/2/2/2	1/1/1/2	EC	-	9.7	0/0/0/m	-	-
35	27.2	0.8	-	Mt2	t	2	1	EC	-	0.7	m	-	-
36	42.8	0.3	+	Mt1	t	2	1	EC	-	0.6	0	-	-
37	5.1	18.0	-	Mt4re, Mt5li	t/t	2/2	1/2	EC	-	0.6	0/0	-	-
38	2.8	4.3	+	Mt3	t	2	3	EC	-	1.0	m	+	-
39	8.1	1.6	-	Mt2	fg	1	1	EC	-	0.3	0	-	-
40	22.6	3.5	-	Mt5	o	2	1	EC	-	8.5	0	-	+°
41	5.6	4.3	+	Mt3	t	2	1	EC	-	1.9	0	-	-

42	28.5	2.6	-	Mt4	c	2	1	EC	-	9.4	0	-	-
43	27	2.0	-	Mt4	fg	2	1	EC	d, sl	2.3	0	-	+°
44	32.7	5.7	-	Mt3	o	2	1	EC	sl	13.9	0	-	-
45	39.3	1.6	+	Mt2	c	2	1	EC	-	1.1	0	-	-
46	36.0	3.1	+	Mt2	t	2	1	EC	sl	5.3	s	-	+*
47	7.6	0.5	-	Mt4/5	t/t	2/2	1/1	EC	-	1.7	0/0	-	-
48	11.9	0.3	-	Mt4/5	t/t	2/2	2/2	EC	-	2.1	0/m	-	-
49	9.2	5.7	-	Mt3/5	fg/fg	2/2	1/1	EC	-	8.6	0/0	-	+°
50	11.0	2.7	-	Mt2/3	t/c	2/1	1/1	EC	-	0.8	0/0	-	-
51	15.4	3.9	-	Mt3/4	t/t	2/2	1/1	EC	-	3.5	0/0	-	-
52	42.3	3.0	-	Mt2/3	o/t	½	1/1	EC	sl	0.9	oa/oa	-	-
53	34.9	6.1	-	Mt4/5	t/c	2/2	1/1	EC	-	0.6	0/0	-	-
54	42.3	3.6	-	Mt2/3	t/o	2/2	1/1	EC	-	3.5	0/0	-	-
55	5.1	0.3	-	Mt3/4/5	t/t/t	2/2/2	1/2/1	EC	-	0.5	0/0/0	-	-
56	2.7	0.7	-	Mt3/4/5	t/t/t	2/2/2	2/2/3	EC	-	0.4	0/n/0	-	-
57	16.8	0.3	-	Mt3/4/5	t/o/t	3/2/2	1/1/1	EC	sl	2.4	0/0/0	-	+*
58	26.8	0.4	-	Mt3/4/5	o/t/c	2/2/2	1/1/1	EC	sl	1.6	0/0/0	-	-
59	3.9	3.6	-	Mt2/3/4	t/t/t	1/1/1	1/1/1	EC	-	5.6	0/0/0	-	-
60	27.6	2.9	-	Mt2/3/4	t/t/t	1/1/1	1/1/1	EC	sl	1.6	0/0/0	-	-
61	42.3	1.5	-	Mt2/3/4	t/t/t	2/2/2	1/2/1	EC	-	6.5	s/s/s	-	-
62	5.8	0.2	-	Mt2/3/4/5	t/t/t/t	3/3/2/2	1/1/1/3	EC	-	6.7	0/0/0/0	-	-
63	9.2	0.4	-	Mt2/3/4/5	t/t/t/t	2/2/2/2	1/1/1/1	EC	-	9.0	m/m/m/m	-	-
64	12.2	2.1	-	Mt2/3/4/5	t/t/t/t	2/2/2/2	1/1/1/1	EC	d Mt2/3	4.1	0/0/0/0	-	-
65	13.5	5.3	-	Mt2/3/4/5	t/c/t/o	2/2/2/2	2/1/1/1	EC	sl	0.3	m/0/0/0	-	-
66	21.5	5.9	-	Mt2/3/4/5	t/c/t/c	2/2/2/2	1/1/1/1	EC	-	1.9	m/m/m/m	-	+°
67	11.4	2.7	-	Mt2/3/4/5	t/t/t/t	1/1/1/1	1/1/1/1	EC	-	4.6	0/0/0/0	-	-

kg: body weight at follow-up

o: open fracture

type of fracture: t = transverse, o = oblique, c = comminuted, fg = fissure / greenstick fracture etc.

location of fracture: 1 = base, 2 = shaft, 3 = physis, 4 = head

displacement of fracture: 1 = < 50%, 2 = 50-100%, 3 = > 100% (preoperative)

method of therapy: EC = external coaptation

complication of therapy: d = delayed union, sl = skin laceration

radiographic outcome 0 = no abnormalities, s = synostosis, m = malunion, n = nonunion, oa = osteoarthritis

lame (visual): + = present, - = not present

gait analysis (computed): + = available, - = not available, * = lame. ° = not lame

Appendix Table 3

Group 2 (surgical treatment). Synopsis of patients, fracture data, complications, radiographic and functional outcome in 25 dogs with 25 injured limbs

patient			fracture					therapy		result			
dog	kg	age (yrs)	o	bone	type	location	displ.	method	compl.	recheck (yrs)	radiogr.	lame	gait analysis
1	6.2	5.6	-	Mc5	t	1	3	IMP	-	11.3	0	-	-
2	9.2	2.4	-	Mc5	o	1	3	TBW	-	6.4	0	-	-
3	34.4	3.0	-	Mc5	o	2	3	LS	-	5.3	0	-	-
4	33.5	3.8	-	Mc3	o	1	3	LS	-	0.6	0	-	-
5	4.5	3.0	-	Mc3/4	c/c	2/2	3/3	DP	-	0.5	s/s	-	-
6	4.2	3.4	-	Mc3/4	t/t	2/2	3/3	DP	-	0.5	0/0	-	-
7	6.7	5.2	-	Mc4/5	t/t	2/2	2/3	DP	-	0.5	0/0	-	-
8	3.2	0.6	-	Mc3/4/5	t/t/t	2/2/2	3/3/2	DP	-	0.7	s/s/0	-	-
9	2.7	4.1	-	Mc3/4/5	t/t/t	2/2/2	3/3/1	DP	-	0.6	0/0/0	-	-
10	7.2	5.4	-	Mc3/4/5	t/t/t	2/2/2	3/3/3	DP	-	1.7	0/0/0	-	-
11	6.3	2.9	-	Mc3/4/5	t/t/t	2/2/2	1/1/1	DP	-	0.6	0/0/0	-	-
12	9.8	0.4	-	Mc2/3/4/5	t/t/t/t	2/2/2/2	3/3/3/3	DP	-	5.2	0/s/s/s	-	+°
13	14.1	0.5	-	Mc2/3/4/5	t/t/t/t	2/2/2/2	1/1/3/3	DP	-	0.6	s/s/0/0	-	-
14	3.8	2.6	-	Mc2/3/4/5	c/t/t/t	2/2/2/2	3/3/3/3	DP	-	0.5	s/s/s/s	-	-
15	11.9	0.9	-	Mt3	t	2	3	DP	-	0.5	0	-	-
16	29.3	3.6	-	Mt2	o	1	1	TBW	-	7.3	0	-	+*
17	34.2	0.8	-	Mt2/3/4	t/t/t	2/2/2	3/3/3	BP	-	6.8	0/0/0	-	-
18	4.2	3.7	+	Mt2/4/5	t/t/t	2/2/2	3/3/3	ESF	-	3.6	0/0/0	-	-
19	4.6	0.9	+	Mt2/3/4/5	t/t/t/t	2/2/2/2	3/3/3/3	AMP(Mc2)/DP	om, if	7.6	0/sm/sm/sm	+	-
20	6.9	3.8	-	Mt2/3/4/5	t/t/t/t	2/2/2/2	3/3/3/3	BP	-	0.5	0/0/0/0	-	-
21	5.8	4.5	-	Mt2/3/4/5	t/t/t/t	2/2/2/2	3/3/3/3	DP	-	0.5	0/0/0/0	-	-
22	4.6	3.0	+	Mt2/3/4/5	c/o/c/o	2/2/2/2	3/3/3/2	ESF	d	2.0	s/s/s/ms	-	-
23	21.5	3.7	-	Mt2/3/4/5	t/t/t/t	2/2/2/2	3/3/3/3	BP	-	0.6	0/0/0/0	-	-
24	32.8	2.3	-	Mt2/3/4/5	t/t/t/t	2/2/2/2	2/2/2/2	BP	-	9.1	0/0/s/s	-	+°
25	28.7	2.5	-	Mt2/3/4/5	t/t/t/t	1/1/1/1	3/3/3/3	CP	om, if	0.7	sm/sm/m/m	-	-

kg: body weight at follow-up

o: open fracture

type of fracture: t = transverse, o = oblique, c = comminuted, fg = fissure / greenstick fracture etc.

location of fracture: 1 = base, 2 = shaft, 3 = physis, 4 = head

displacement of fracture: 1 = < 50%, 2 = 50-100%, 3 = > 100% (preoperative)

method of therapy: IMP = intramedullary pinning (normograde), TBW = tension band wiring, LS = lag screw fixation, DP = dowel pinning, BP = bone plating, ESF = external skeletal fixation, CP = cross pinning, AMP = amputation

complication of therapy: om = osteomyelitis, if = implant failure, d = delayed union

radiographic result: 0 = no abnormalities, s = synostosis, m = malunion

lame (visual): + = present, - = not present

gait analysis (computed): + = available, - = not available, * = lame, ° = not lame

Appendix Table 4

Group 3 (conservative and surgical treatment). Synopsis of patients, fracture data, complications, radiographic and functional outcome in 8 dogs with 8 injured limbs

patient			fracture					therapy		result			
dog	kg	age (yrs)	o	bone	type	location	displ.	method	compl.	recheck (yrs)	radiogr.	lame	gait analysis
1	38.9	5.2	-	Mc2/3	t/c	2/2	3/1	BP/EC(Mc3)	if	0.7	0/0	-	-
2	40.1	2.4	-	Mc1/5	t/o	2/1	1/3	EC(Mc1)/BP/LS	-	0.5	0/0	-	-
3	31.2	4.2	-	Mc2/3	t/o	1/1	1/1	BP/EC(Mc3)	if	2.6	oa/oa	-	-
4	8.6	2.6	+	Mt3/4/5	t/t/t	2/2/2	3/3/3	BP/EC(Mt5)	-	3.5	s/0/0	-	-
5	14.3	1.8	-	Mt3/4/5	t/c/t	2/2/2	2/3/2	D/EC(Mt4)	-	0.4	s/s/s	-	-
6	10.0	5.6	-	Mt3/4/5	o/c/t	2/2/2	1/1/2	EC(Mt3/4)/DP	-	7.2	s/s/s	-	+°
7	3.5	3.5	+	Mt2/3/4/5	t/t/t/t	2/2/2/2	3/3/3/3	BP/EC(Mt5)	d	0.7	s/s/s/sm	-	-
8	33.3	2.4	-	Mt2/3/4/5	t/t/t/t	2/2/2/2	1/3/3/3	DP/EC(Mt5)	-	0.7	s/s/s/sm	-	-

kg: body weight at follow-up

o: open fracture

type of fracture: t = transverse, o = oblique, c = comminuted, fg = fissure / greenstick fracture etc.

location of fracture: 1 = base, 2 = shaft, 3 = physis, 4 = head

displacement of fracture: 1 = < 50%, 2 = 50-100%, 3 = > 100% (preoperative)

method of therapy: BP = bone plating, EC = external coaptation, LS = lag screw fixation, DP = dowel pinning

complication of therapy: if = implant failure, d = delayed union

radiographic outcome: 0 = no abnormalities, oa = osteoarthritis, s = synostosis, m = malunion

lame (visual): + = present, - = not present

gait analysis (computed): + = available, - = not available, * =lame. ° = not lame

Table 5

Kinetic data in 11 conservatively, 3 surgically and 1 conservatively and surgically treated dogs with metacarpal and metatarsal fractures.

group	dog	BW	affected limb	bones	limbs	S	Diff%	PVF	SI	I	SI
1	12	22.8kg	right	Mc2	right	79.5	0.20	63.4	9.04	37.0	20.17
					left	79.7		69.4		45.3	
1	17	26.3kg	right	Mc2/3	right	74.0	3.80	53.5	1.12	29.4	7.41
					left	70.2		54.1		27.3	
1	21	9.3kg	left	Mc3-5	right	74.3	1.00	67.3	2.49	20.0	2.96
					left	73.3		69.0		20.6	
1	23	34.2kg	right	Mc2-4	right	74.5	1.10	46.1	0.22	27.1	0.74
					left	75.6		46.0		26.9	
1	30	6.3kg	right	Mc2-5	right	74.3	3.00	74.9	6.83	21.9	1.36
					left	71.3		80.2		22.2	
1	40	22.6kg	right	Mt5	right	75.3	4.00	40.9	9.74	20.4	4.32
					left	71.3		37.1		21.3	
1	43	27.0kg	right	Mt4	right	71.6	1.20	40.6	2.75	18.2	2.17
					left	72.8		39.5		18.6	
1	46	36.0kg	left	Mt2	right	84.3	1.40	41.3	2.16	18.0	14.43
					left	82.9		42.2		20.8	
1	49	9.2kg	left	Mt3/5	right	71.8	4.60	42.0	6.39	16.8	3.64
					left	76.4		39.4		16.2	
1	57	16.8kg	right	Mt3-5	right	69.9	1.60	40.2	3.03	15.1	11.84
					left	71.5		39.0		17.0	
1	66	21.5kg	left	Mt2-5	right	69.1	3.10	38.1	0.00	18.0	9.52
					left	72.2		38.1		19.8	
2	12	9.8kg	right	Mc2-5	right	77.6	0.60	55.3	8.98	18.2	7.41
					left	78.2		60.5		19.6	
2	16	29.3kg	left	Mt2	right	72.3	4.70	41.1	8.63	26,6	11.53
					left	77.0		37.7		23,7	
2	24	32.8kg	right	Mt2-5	right	79.3	4.30	32.2	6.41	15,9	9.58
					left	83.6		30.2		17,5	
3	6	10.0kg	right	Mt3-5	right	70.7	3.80	34.4	4.82	12,6	9.09
					left	74.5		36.1		13,8	

group 1 = conservative treatment, group 2 = surgical treatment, group 3 = conservative and surgical treatment

BW = body weight

Mc = metacarpal bones, Mt = metatarsal bones

S = stance phase (% total step); Diff % = difference in percent, PVF = Peak vertical force (% body weight); SI = symmetry index, I = impulse (% BW*s)

Table 6

Demonstration of comparison of treatment groups 1-3 in 49 dogs with fractures of three and four bones for the frequency of synostosis by means of the generalized Fisher exact test (Fisher-Freeman-Halton-test).

metacarpus	no synostosis	synostosis	total	p-value
group 1	14	1	15	not significant
group 2	3	4	7	
group 3	0	0	0	
metatarsus				
group 1	12	1	13	0.0007
group 2	5	4	9	
group 3	0	5	5	
metacarpus / metatarsus				
group 1	26	2	28	0.0001
group 2	8	8	16	
group 3	0	5	5	

treatment groups: group 1 = conservative treatment, group 2 = surgical treatment, group 3 = combined treatment

Table 7

Demonstration of significant associations between the degree of displacement (influencing factor) as a risk factor for complications (target variable) using a stepwise logistic regression procedure.

Metatarsal bone 2			
displacement	complication		total
	none	yes	
no fracture	21	1	22
grade 1	16	1	17
grade 2	2	0	2
grade 3	5	4	9
total	44	6	50
p-value	0.0272		
Metatarsal bone 4			
displacement	complication		total
	none	yes	
no fracture	16	0	16
grade 1	16	2	18
grade 2	4	0	4
grade 3	8	4	12
total	44	6	50
p-value	0.0485		

Metatarsal bone 5					
displacement	complication				total
	none	delayed union	nonunion	osteomyelitis	
no fracture	21	0	0	0	21
grade 1	12	0	0	0	12
grade 2	5	1	0	0	6
grade 3	8	0	1	2	11
total	46	1	1	2	50
p-value	0.0101				

displacement of fracture: grade 1 = < 50%, grade 2 = 50-100%, grade 3 = > 100% (preoperatively)

4 Veröffentlichung Nr.2

4.1 Publikation

Titel: 'Dowel' pinning for feline metacarpal and metatarsal fractures

Autoren: Klaus Zahn, Matthias Kornmayer, Ulrike Matis

Zeitschrift: Journal of Veterinary Comparative Orthopaedics and Traumatology
(<http://www.schattauer.de/de/magazine/uebersicht/zeitschriften-a-z/vcot/contents/archive-2003/issue/137/manuscript/9031/show.html>)

'Dowel' pinning for feline metacarpal and metatarsal fractures

K. Zahn, M. Kornmayer, U. Matis

Veterinary Surgery Clinic, Ludwig-Maximilians-University of Munich, Germany

Keywords: Cat, fracture, metacarpus, metatarsus

Summary

The goal of this retrospective study was to describe 'Dowel' pinning, and to compare the results of osteosynthesis and external coaptation of metacarpal and metatarsal fractures in cats. Evaluation of the medical records of 351 cats yielded 63 cats treated with 'Dowel' pinning, 35 cats treated with external coaptation and 14 cats treated with both methods within the same limb. All of the cats had been re-evaluated at an average at 2.8 years (six months-15 years) postoperatively. 'Dowel' pinning was superior to external coaptation when all fractured bones of a limb could be pinned. When internal fixation of multiple fractures was not feasible in all fractured bones due to comminution or fragments that were too short to pin, the outcome was not significantly different from cases treated with external coaptation alone. Malunion was seen in 16 % of fractured bones in cats treated with external coaptation and occurred secondary to implant bending in 3 % of fractured bones treated with 'Dowel' pinning. The latter refers to one operated cat, which had four metacarpal fractures in the same limb. Radiographs taken at re-evaluation showed implant migration within the medullary canal in two cats, although neither showed any signs of non-union or lameness. Non-union was seen in one operated cat, in which the fracture (Mc IV) could not be completely reduced with a K-wire. Osteomyelitis did not occur. 'Dowel' pinning is an easy, inexpensive and effective technique for repair of metacarpal and metatarsal fractures in cats.

Introduction

Metacarpal and metatarsal fractures are common in small animal practice; of 5,472 fractures in 4,689 cats that were diagnosed from 1990 to 2005 at the Clinic of Veterinary Surgery, Ludwig-Maximilians-University of Munich, 383 (7 %) were metacarpal or metatarsal fractures (1). The cause in dogs is usually trauma, but in racing breeds, characteristic stress fractures are also seen (2). Concomitant fractures to the head, thorax and skeleton are frequently seen in cats with metacarpal or metatarsal fractures (3, 4). The fracture site (base, shaft, head of the bone), the number of affected bones, and involvement of supporting bones are important criteria for selecting the appropriate treatment. Internal fixation is indicated in dogs with more than two metacarpal or metatarsal fractures, severely displaced fractures, fractures of the weight-bearing third or fourth bones, fractures involving a joint, and rupture of the collateral ligaments of the second or fifth bones with valgus or varus instability (5, 6).

In dogs, osteosynthesis techniques include: percutaneous fixation (7) and internal fixation using tension band wiring, lag screws (2, 5, 8), intramedullary pins (9, 10-12), or plates and screws (10, 13, 14). However, internal fixation in cats is limited to intramedullary pins (9) or expensive miniplates and screws because of the small bone diameter (14).

Various techniques have been described in the literature regarding the insertion on intramedullary fixation. The easiest is retrograde pinning, in which the K-wire is inserted into the distal fragment via the fracture site and advanced distally where it penetrates the head of the bone. The tip of the K-wire is grasped and then withdrawn until the proximal end disappears into the medullary canal. The fragments are reduced, the blunt end of the K-wire is driven into the proximal fragment, and the distal end is bent and shortened (12). Joint injury and irritation are frequent complications (11) and can be avoided by normograde pinning, in which the K-wire is introduced through the dorsal cortex slightly proximal to the metacarpo/metatarsophalangeal joint and advanced into the medullary canal (5). However, there is a risk of fracturing the distal bone fragment. Pre-drilling a slot ('slotting technique') facilitates the introduction of a pin (9, 10). Both techniques are associated with considerable difficulty in cats because of bone size (5) unless small diameter pins are used (9).

In dogs, normograde intramedullary pinning did not guarantee stable osteosynthesis and therefore it did not provide any advantage over external coaptation (6, 11). In fact, even with over methods of internal fixation, the functional results were not better than those achieved in dogs treated with external coaptation (6, 15).

'Dowel' pinning has been used for more than 25 years at our clinic for the treatment of metacarpal and metatarsal fractures in cats and dog toy breeds. This technique, which was previously described by the authors (1), was recently investigated in 13 cats (16). However, unlike a study in dogs (15), the results were not compared with those of conservatively treated feline metacarpal and metatarsal fractures. Therefore, the objective of this study was to describe the 'Dowel' pinning technique, and to compare the results of treatment by this method of internal fixation versus external coaptation in metacarpal and metatarsal fractures in cats.

Material and methods

Study design

The medical records and radiographs of all of the cats with metacarpal and/or metatarsal fractures that were presented to our clinic from 1990 to 2005 were retrieved from the medical record data base. Complete medical records and radiographs of 351 cats met the inclusion criteria in this retrospective study. Information describing the cause of the fracture was also obtained from the medical records. The fracture(s) in each cat was classified by one veterinarian (MK) after review of the radiographs according to topography (metacarpal or metatarsal), bone (MC I-V or MT II-V), location (base, body, physis or head) and type (transverse, oblique or comminuted) of the fractures.

Fracture treatment procedures

The fractures in each case were further classified into three groups, according to the method of fracture treatment, as described in the following section. Some animals had multiple limb injuries that were treated by different procedures, so the treatment groups were allocated by limb and not by animal.

Group 1: 'Dowel' pinning surgery

Osteosynthesis was carried out in closed fractures involving only one bone that was severely displaced and in fractures involving two or more metacarpal or metatarsal bones of the same limb.

A short longitudinal incision was made on the dorsal surface of the metacarpus or metatarsus centered over the fracture site and was extended 3-4 cm in fractures of multiple bones in order to provide good exposure. Minimal dissection near the fracture site ensured preservation of soft tissue, which was of paramount importance when exposing each bone. Further mobilisation of the extensor tendons or periosteum was not necessary to handle the fragments, which were carefully grasped with mosquito forceps. A K-wire that almost or completely filled the medullary canal was inserted retrograde as far as possible in the medullary canal of the larger bone fragment and cut so that approximately 8-14 mm protruded from the fracture end. K-wires with a larger diameter could usually be used in the third and fourth bones because of larger medullary canals compared with the second and fifth bones. To prevent the K-wire from penetrating the end of the bone fragment and thus injuring the joint, advancement of the K-wire was monitored via fluoroscopy or, alternatively, the blunt end of the K-wire was introduced into the bone. A K-wire of the same diameter was advanced into the medullary canal of the opposite fragment and then removed to facilitate sliding of the fragment onto the pin. Then both fragments were grasped with mosquito forceps, as far away from the fracture site as possible, and maximally distracted so that the shorter fragment could be placed on the free end of the K-wire. Mild dorsal pressure against the end of the pin aided in seating of the pin (Fig. 1). With gentle twisting movements, the distal fragment was pushed toward the proximal bone fragment to close the gap between the fragments. Soft tissue tension made

distraction more difficult in the metatarsus than in the metacarpus and in proximal fractures compared to distal fractures. When required, the free end of the K-wire was shortened to facilitate its insertion in the opposite bone fragment.

The skin was closed with nonabsorbable suture material in a simple interrupted pattern. A bandage incorporating crepe paper in order to add rigidity was applied to the lower half of the limb and changed weekly for two weeks in cats with up to two fractured bones and for two to six weeks (mean: 3.1 weeks) in those with more than two fractured bones.

Group 2: External coaptation

Closed reduction under general anaesthesia was carried out in single, minimal-displaced fractures, and non-reconstructable multiple bone fractures (Fig. 2 and 3). Open fractures that did not involve the carpometacarpal or tarsometatarsal joint were first debrided and managed as open wounds using bandages without internal fixation of the fractures. A plastic splint was applied to achieve immobilization for an average of 3.9 weeks (range: 2-12 weeks).

Group 3: Combined 'Dowel' pinning with external coaptation

In some cases of multiple fractures, not all of the fractured bones were stabilized using 'Dowel' pinning because of comminution or fragments that were too short for internal fixation (Fig. 4). In these cases, additional support for the non-repaired fractured bones was provided by external coaptation similar to cats in group 2. All of the owners were advised to the cats indoors until healing was complete.

Outcome evaluation

Outcomes of the fracture treatments were evaluated invariably by complete clinical and radiographic follow-up examinations within a minimum of six months: 112 (32 %) of the 351 cats met these criteria. Lameness at the last follow-up examination was graded as present or absent.

Follow-up radiographs of fractures were assessed by two investigators (KZ, MK) in order to evaluate fracture healing and to detect complications, which specifically

included synostosis, malunion, non-union and implant failure, such as bending or breaking. Since none of the 'Dowel' pins were removed, blinded evaluation of fracture healing could not be done.

Data analysis

In those animals with adequately documented follow-up information, the differences among the three groups with respect to the endpoints of lameness, malunion and synostosis were analyzed using the chi-square test of association. Because multiple comparisons were made, a Bonferroni correction for multiple-comparison tests was used, and $P < 0.016$ was considered statistically significant prior to the correction and $P < 0.05$ following the correction.

Results

Fracture data

Of the 351 cats, there were 218 males and 133 females, which ranged in age from seven months to 13 years (mean: 3.5 years) and weighed 3.1 to 7.8 kg (mean: 4.4 kg). The most common cause of the fractures was a fall from a great height ($n = 168$). In approximately one third of the patients ($n = 116$) the cause of the fracture was unknown. Injuries associated with motor vehicle accidents ($n = 27$), falling objects ($n = 26$), dog attacks ($n = 5$), being stepped on ($n = 4$), lawn mower accidents ($n = 4$) and gun shot wounds ($n = 1$) were less common causes.

There were 172 unilateral and 27 bilateral metacarpal fractures, 138 unilateral and four bilateral metatarsal fractures and 10 cats with metacarpal and metatarsal fractures. In total there were 482 metacarpal fractures involving 236 forelimbs and 406 metatarsal fractures involving 156 hind limbs.

The main weight-bearing third and fourth bones, especially MC IV, were more frequently affected, and MC I was never fractured. With regard to metacarpal fractures, 10 % involved the base, 82 % the body, 6 % the physis and 2 % the head of the bone. In cats with metatarsal fractures, 17 % involved the base, 77 % the body, 3 % the physis and 3 % the head of the bone. Transverse or oblique fractures were seen in 91 % of metacarpal fractures and in 88 % of the metatarsal

fractures. Comminuted fractures occurred in 9 % of metacarpal fractures and in 12 % of metatarsal fractures.

Of 351 cats, 192 (54.7 %) with 218 fractured limbs were repaired surgically (group 1), and 111 (31.6 %) with 120 fractured limbs were treated with external coaptation (group 2). In 48 (13.7 %) cats with 54 fractured limbs, some fractures in the same limb were treated surgically and others with external coaptation (group 3).

In 23 (4 %) of 581 metacarpal and metatarsal bones manipulated for 'Dowel' pinning, the bone shattered as reduction and fixation were attempted; internal fixation was abandoned and a bandage was applied instead. These cases were re-assigned to treatment groups 2 or 3 according to the presence or absence of an internally fixed metacarpal or metatarsal bone in the same limb.

Treatment outcome

The results of clinical and radiographic evaluation six months to 15 years (mean, 2.8 years) postoperatively were used to evaluate the outcome of the three treatment groups. Sixty-three (33 %) of 192 cats in group 1 (internal fixation), 35 (32 %) of 111 cats in group 2 (external coaptation) and 14 (29 %) of 48 cats in group 3 (internal fixation and external coaptation) were re-evaluated, yielding a total of 112 cats. Fifty-one of these cats had undergone additional osteosynthesis because of concomitant limb fractures. All of them had uneventful fracture healing, which did not affect the overall outcome.

At re-evaluation, one cat (2 %) in group 1, five cats (14 %) in group 2 and two cats (14 %) in groups 3 had mild lameness (Table 1). Radiographs revealed that the cause of lameness was malunion in all of the five cats treated with external coaptation and non-union in one operated cat. The non-union involved only one MC IV, which had not been completely reduced. In group 3, both cats with lameness had multiple proximal metatarsal fractures. Only one of the metatarsal bones was repaired with a K-wire in each cat because the other bone fragments were too short for internal fixation. Malunion occurred in the concurrent non-operated fractures. In total, malunion (Fig. 2) occurred in 2 % of fractures in group 1, in 17 % of fractures in group 2 and in 21 % of fractures on group 3. Synostosis

(Figs. 3 and 4) was seen in 35 % of fractures in group 1, in 20 % of fractures in group 2 and in 71 % of fractures in group 3 (Table 2), although this did not impair limb fracture. Synostosis did not occur in cats with up to two fractured bones treated with external coaptation alone, but was seen in 20 % of all operated cats with up to two fractured bones. The number of synostoses and malunions increased with a more proximal position of the fracture. However, except of one cat, in which implant bending after 'Dowel' pinning resulted in malunion of all four metacarpal bones, malunion was exclusively seen in fractured bones of cats that had been treated with external coaptation.

Implant-associated complications were limited to three (5 %) of 63 cats treated with 'Dowel' pinning. In the aforementioned cat, unrestricted activity without a splint resulted in mild bending of all 0.8 mm K-wires with malunion and a slight dorsopalmar deviation. In two other metacarpal fractures treated with internal fixation, the pin had migrated a few millimeters distally in the medullary canal. In these patients, the pin had been inserted into the shorter fragment first and was not anchored in the metaphysis. None of these cats had any related clinical problems. Abnormal wound healing and radiographic evidence of osteomyelitis were not seen in any of the patients (Figs. 5 and 6).

The overall outcome of the cats in group 1 was significantly better than that of cats in group 2 ($P < 0.05$). However, there was not any significant difference between the outcome of cats in groups 2 and 3. The incidence of synostosis did not differ between groups 1 and 2, but was significantly higher in group 3 compared with the other two groups. The incidence of malunion was significantly lower in group 1 compared with the other groups.

Discussion

The cats with metacarpal and metatarsal fractures were frequently polytraumatized. Almost 50 % of the cats in the previous study had concomitant injuries to the head and / or thorax, and additional fractures to the limbs, pelvis or spine. Compared with other studies of dogs (6, 15) and cats (3), metacarpal fractures occurred more frequently than metatarsal fractures in patients of the present study. A possible explanation for this is that cats land predominantly on their front feet after falling from a great height (4), which was the most common

cause of fractures in our study population. The weight-bearing MC III and MC IV were fractured in more than 70 % of our patients, which has also been reported in dogs (15). However, in contrast to studies in dogs, the fracture incidence of MC IV in our patients was 40 % and only 30 % in MC III. Because the forelimb of cats is in a prone position when extended and in a supine position when the elbow is flexed (17, 18), the change from maximal extension to flexion during the impact could overload MC IV, which, because of its length, causes the paw to pivot.

The outcome of external coaptation was particularly satisfactory when intact bones served as support for the fractured bones and aided in maintaining normal alignment (Fig. 2). As the number of fractured bones increased so did the incidence of malunion. It appears that with multiple fractures, external coaptation does not maintain correct alignment during the healing period (Fig. 3).

In contrast, internal fixation with K-wires resulted in correct alignment until bone union occurred (Figs. 5 and 6), with the exception of one cat in which there was bending of the implant. Serious implant-associated complications necessitating implant removal, such as migration, joint irritation or infection, did not occur in our patients. However, only closed fractures were selected for surgical repair. Malunion in group 3 occurred only in bones that were treated with external coaptation. This indicates that in a limb with multiple fractures, all of the fractured bones should be repaired using internal fixation when possible. This would also eliminate other risks associated with external coaptation, especially that of a bone-fragment dislocation during bandage changes. Based on our results, we cannot comment on whether bandaging can be relinquished altogether if all of the fractured bones of a limb are repaired by internal fixation. In contrast to plate fixation, 'Dowel' pinning may not allow early weight-bearing of the limb. It is plausible that the principle 'open but do not touch' cannot be maintained with regard to soft tissue preservation in stabilization techniques that introduce a pin from the fracture site. On the other hand, implants contained within the bone are superior with respect to preservation of tendons and periosteal soft tissue.

Normograde or retrograde intramedullary fixation resulted in non-union and lameness in 11 of 14 dogs with fractures of distal extremities (6, 11, 15). These complications were rarely seen in our patients. A possible explanation for this difference is that normograde pinning necessitates the use of small-gauge pins that can be advanced into the medullary canal after insertion through the distal

cortex (9). 'Dowel' pinning, on the other hand, allows the use of larger pins with a diameter approximating that of the medullary canal. Even a small increase in the diameter of the pin in this caliber range results in a marked increase in the area moment of inertia and thus the fixation stability (19). Intramedullary pins with a diameter of up to 1.2 to 1.4 mm can be used in the metatarsus of mature cats and, because of the relatively large diameter of the medullary canal, in both the metatarsus and the metacarpus of younger cats. In contrast, the normograde slotting technique uses 0.9 mm pins (9). Caution is advised when using dowel pins that are too thick because they may fracture the bone. Furthermore, oversized pins may impair the endosteal blood supply and cause stress protection, thereby delaying healing and mineralization of the bone (20). On the other hand, pins that are too thin pose a risk of implant bending with resulting malunion. In a recent study (16), pins as small as 0.6 mm were used for osteosynthesis in 13 cats; the higher rate of implant failure in that study may have been attributable to the small pin diameters.

Similar to the results of that study (16), synostosis occurred in approximately one third of all metacarpal and metatarsal fractures repaired by osteosynthesis. In general, it was not of any apparent clinical significance. It appeared to be attributable not only to surgical trauma but also to the initial injury. Synostosis was seen about half as frequently in cats treated with external coaptation as in cats that underwent osteosynthesis, but the frequency increased with an increase in the number of fractured bones regardless of the type of treatment used. The number of fractured bones was presumed to reflect the severity of the trauma. Synostoses were seen mainly in the proximal region of the bones, and we believe that this was because the bones in this location are closer together and therefore limited in their movement (Fig. 4).

The functional and anatomical results of intramedullary pinning were significantly better than those of cats treated with external coaptation. Therefore, 'Dowel' pinning can be recommended for the treatment of closed metacarpal and metatarsal fractures in cats. However, the advantages of 'Dowel' pinning were less obvious when surgical treatments and external coaptation were combined within the same limb, for instance when only one bone could be pinned and others, because of comminution or very short fragments, had to be treated with external coaptation. Although in our experience, osteosynthesis of only one or two bones

facilitates the maintenance of the reduced position of those bones that could not undergo internal fixation the statistical analysis did not substantiate an advantage of combined treatment over external coaptation alone.

Considering the risks associated with retrograde or normograde intramedullary pinning described in dogs (6, 11), 'Dowel' pinning is a superior technique because it eliminates joint injury and minimizes the risk of iatrogenic bone damage during implant insertion. Based on our results, it can be recommended as an easy, inexpensive and effective technique for repair of metacarpal and metatarsal fractures in cats. Prospective studies are needed to assess and compare the healing time of various methods of metacarpal and metatarsal fracture repair in cats.

Acknowledgement

We would like to thank Prof. Dr. Kenneth Johnson from the Ohio State University for the critical review of the manuscript and his helpful input.

Correspondance to:

Dr. Klaus Zahn

Chirurgische Tierklinik der Ludwig-Maximilinas-Universität

Veterinärstrasse 13

80539 Munich, Germany

Phone: + 49 89 2180 2628, Fax: + 49 89 395341

E-mail: Klaus.Zahn@chir.vetmed.uni-muenchen.de

References

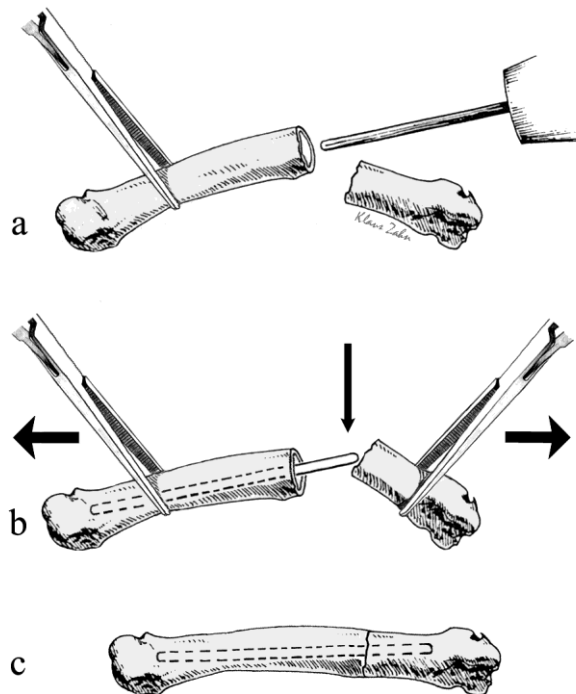
1. Zahn K, Kornmayer M, Matis U. Metacarpal and Metatarsal fractures in cats. VCOT 2006; 19: A59.
2. Bellenger CR, Johnson KA, Davis PE et al. Fixation of Metacarpal and Metatarsal Fractures in Greyhounds. Aus Vet J 1981; 57: 205-211.
3. Lösslein LK. Metakarpal- und Metatarsalfrakturen bei Hund und Katze. Behandlung und Ergebnisse in den Jahren 1975-1981. Thesis, LMU Munich 1982.
4. Whitney WO, Mehlhaff CJ. High-rise syndrome in cats. J Am Vet Med Assoc 1987; 191: 1399-1403.
5. Anderson MA, Payne JT, Constantinescu GM. Managing fractures and related injuries of the distal extremities in dogs and cats. Vet Med 1993; 88: 957-968.
6. Muir P, Norris JL. Metacarpal and metatarsal fractures in dogs. J Small Anim Pract 1997; 38: 344-348.
7. Okumura M, Watanabe K, Kadosawa T, Fujinaga T. Surgical salvage from comminuted metatarsal fracture using a weight-bearing pin-putty apparatus in a dog. Aus Vet J 2000; 78: 95-98.
8. Early TD, Dee JF. Trauma to the Carpus, Tarsus and Phalanges of Dogs and Cats. Vet Clin North Am Small Anim Pract. 1980; 10: 717-747.
9. Benedetti LT, Berry K, Bloomberg M. A Technique for Intramedullary Pinning of Metatarsals and Metacarpals in Cats and Dogs. J Am Anim Hosp Assoc 1986; 22: 149-152.
10. Dee JF. Fractures of the metacarpal and metatarsal bones. In: Johnson AL, Houlton JEF, Vannini R (eds). AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat. New York, Thieme 2005: 360-368.
11. Manley PA. Distal Extremity Fractures in Small Animals. J Vet Orthop 1981; 2 (2): 38-48.
12. Wind A. Fractures of the metacarpal (metatarsal) bones. Proc. Am Anim Hosp Assoc 1976; 43: 346.
13. Gentry SJ, Taylor RA, Dee JF. The Use of Veterinary Cuttable Plates: 21 Cases. J Am Anim Hosp Assoc 1993; 29: 455-459.

-
14. Von Werthern CJ, Bernasconi CE. Application of the Maxillofacial Mini-plate Compact 1.0 in the Fracture Repair of 12 Cats / 2 Dogs. Vet Comp Orthop Traumatol 2000; 13: 92-96.
 15. Kapatkin A, Howe-Smith R, Shofer F. Conservative versus surgical treatment of metacarpal and metatarsal fractures in dogs. Vet Comp Orthop Traumatol 2000; 13: 123-127.
 16. Degasperi B, Gradner G, Dupre' G. Intramedullary Pinning of Metacarpal and Metatarsal Fractures in Cats Using a Simple Distraction Technique. Vet Surg 2007; 36: 382-388.
 17. Caliebe F, Haubertaler J, Hoffmann P, et al. Cat distal forelimb joints and locomotion: an X-ray study. Eur J Neurosci 1991; 3: 18-31.
 18. Vollmerhaus B, Roos H, Brugger S. Anatomische Grundlagen und arttypische Bewegungen im Ellbogengelenk und proximalen Radioulnargelenk der Hauskatze. Tierärztl Prax 1993; 21: 163-171.
 19. Muir P, Johnson KA, Markel MD. Area moment of inertia for comparison of implant cross-sectional geometry and bending stiffness. VCOT 1985; 8: 146-152.
 20. Perren SM, Cordey J, Rahn BA et al. Early temporary porosis of bone induced by internal fixation implants. Clin Orthop Rel Res 1988; 232: 139-151.

4.2 Abbildungen und Tabellen

Figure 1

A) 'Dowel' Pinning technique. A K-wire that almost fills the medullary canal is introduced into the longer metacarpal or metatarsal fragment. B) The protruding end of the wire is shortened to 8-14 mm, and mosquito forceps are used to distract the fragments so that the shorter fragment can be placed onto the free end of the wire. Placement of the fragment onto the wire is facilitated by pressure against the free end of the wire (not the end of the bone!), and the fracture is reduced using gentle twisting movements.



Courtesy of Klaus Zahn

Figure 2

Dorsopalmar radiographic views in an eight-month-old cat of group 2 before (A) and three years (B) after external coaptation of basal fractures of MC IV and MC V. The cat was not lame.



Figure 3

Dorsoplantar and medio-lateral radiographic views in a nine-year-old cat of group 2 before (A) and after (B) closed reduction and external coaptation of fractures MT III, IV and V. The seven year follow-up (C, D) shows a valgus deformity, dorsoplantar displacement and synostosis between MT III and IV. The cat was lame.



Figure 3

Dorsoplantar and medio-lateral radiographic views in a nine-year-old cat of group 2 before (A) and after (B) closed reduction and external coaptation of fractures MT III, IV and V. The seven year follow-up (C, D) shows a valgus deformity, dorsoplantar displacement and synostosis between MT III and IV. The cat was lame.



Figure 4

Dorsoplantar and medio-lateral radiographic views in an eight-month-old cat of group 3 before (A), postoperative (B) and four years (C, D) after 'Dowel' pinning of MT II and external coaptation to immobilize multiple proximal metatarsal fractures in which the proximal fragments were too short for 'Dowel' pinning. Bone healing occurred in anatomically correct reduction with synostosis in the proximal region and ankylosis of the tarsometatarsal joints. The cat was not lame.



Figure 4

Dorsoplantar and medio-lateral radiographic views in an eight-month-old cat of group 3 before (A), postoperative (B) and four years (C, D) after 'Dowel' pinning of MT II and external coaptation to immobilize multiple proximal metatarsal fractures in which the proximal fragments were too short for 'Dowel' pinning. Bone healing occurred in anatomically correct reduction with synostosis in the proximal region and ankylosis of the tarsometatarsal joints. The cat was not lame.



Figure 5

Dorsoplantar and mediolateral radiographic views in an one-year-old cat of group 1 before (A, B) and one year (C, D) after 'Dowel' pinning of MT III, IV and V and internal fixation of a fracture-separation of the distal tibial physis. The cat was not lame.



Figure 5

Dorsoplantar and mediolateral radiographic views in an one-year-old cat of group 1 before (A, B) and one year (C, D) after 'Dowel' pinning of MT III, IV and V and internal fixation of a fracture-separation of the distal tibial physis. The cat was not lame.



Table 1

Clinical and radiographic findings in 112 re-evaluated cats with metacarpal and/or metatarsal fractures treated with 'Dowel' pinning (group 1), external coaptation (group 2) or with 'Dowel' pinning and external coaptation (group 3).

	group 1 ,Dowel' pinning			group 2 external coaptation			group 3 'Dowel' pinning external coaptation					
	MC	MT	total	MC	MT	total	MC	MT	total	MC	MT	total
re-evaluated (n=bones)	94	35	129 100%	29	40	69 100%	22	8	30 100%	12	8	20 100%
synostosis	23	19	42 33%	3	13	16 23%	11	3	14 47%	3	7	10 50%
malunion	4		4 3%	2	9	11 16%				2	4	6 30%

Table 2

The frequency of synostosis and malunion in 248 metacarpal and metatarsal fractures of 112 re-evaluated cats treated with 'Dowel' pinning (group 1), external coaptation (group 2) or with 'Dowel' pinning and external coaptation (group 3).

	group 1	group 2	group 3
re-evaluated (n = cats)	63	35	14
lameness	1 2% ^a	5 14% ^a	2 14%
synostosis	22 35% ^b	7 20% ^c	10 71% ^{b,c}
malunion	1 2% ^{d,e}	6 17% ^d	3 21% ^e
a-e within rows, percentages with different superscripts are different (P<0.05).			

5 Diskussion

Mit den vorliegenden Untersuchungen konnten anhand von höheren Fallzahlen und Langzeitergebnissen die Indikationen zur konservativen und operativen Therapie sowie die Prognose von Mittelfußbrüchen beim Hund präzisiert und das operative Behandlungsspektrum von Mittelfußbrüchen bei der Katze um das ‚Dowel‘ pinning erweitert werden.

Die Literatur weist auf eine schlechte Prognose für Metakarpal- und Metatarsalfrakturen des Hundes hin, wirft daher die Frage nach der Gültigkeit der empfohlenen Behandlungsrichtlinien auf und fordert wissenschaftlich untermauerte Aussagen (Manley 1981, Muir und Norris 1997, Kapatkin et al. 2000, Wernham und Roush 2010). Diese Situation veranlasste uns zu einer nochmaligen katamnestischen Erhebung. Die wenigen zur Verfügung stehenden Studien beinhalten geringe Fallzahlen (Manley 1981, Muir und Norris 1997, Kapatkin et al. 2000), das Behandlungsergebnis beruht teilweise auf Angaben der Tierhalter (Manley 1981, Lösslein 1982, Kapatkin et al. 2000) oder wurde nicht mit der Klinik korreliert (Muir 1997). Ziel war daher anhand einer höheren Anzahl von Patienten im Hinblick auf die statistische Signifikanz, durch Röntgenbildserien im Hinblick auf den Heilungsverlauf, über die Bewertung von Langzeitergebnissen durch einen Tierarzt und mit Hilfe der computerisierten Ganganalyse die Objektivität des Themengebietes zu erhöhen.

Im Hinblick auf die Gültigkeit der in der Literatur genannten Behandlungsrichtlinien standen Kapatkin et al. (2000) insgesamt 25 beziehungsweise 19 durch einen Veterinär nachuntersuchte Hunde zur Verfügung, die einheitliche Ausgangsvoraussetzungen aufwiesen und entweder konservativ oder chirurgisch behandelt wurden. Im Vergleich hierzu lagen in dieser Arbeit 49 kontrollierte Fälle mit Frakturen von 3 und 4 Knochen zur statistischen Auswertung vor. Die geringe Anzahl an Patienten mit Komplikationen und röntgenologischen Veränderungen, also das gute Gesamtergebnis dieser Studie, erklärt die mangelnde statistische Signifikanz für die Patienten mit Mehrfachfrakturen und lassen daher wie bei Kapatkin et al. (2000) auch an einer höheren Anzahl von Patienten keine Aussage beim Vergleich der konservativen mit der operativen Therapie zu. Dies trifft nicht auf die Inzidenz der Synostosen zu, wobei in dieser wie auch in anderen

Untersuchungen (Lösslein 1982, Zahn et al. 2007, Degasperis 2007) kein Hinweis auf eine klinische Relevanz dieser Erscheinung erhoben werden konnte. Der Evidenzgrad konnte daher in diesem Punkt nicht erhöht werden. Eine Power Analyse und gegebenenfalls eine multizentrische Untersuchung könnten zukünftig zur endgültigen Klärung dieser Fragestellung verhelfen.

Statistisch signifikante Ergebnisse hingegen konnten im Hinblick auf Risikofaktoren für Mittelfußbrüche des Hundes erhoben werden. Neben weiteren Einflüssen wurde ein höherer Dislokationsgrad der Bruchenden als Risikofaktor für Komplikationen und röntgenologische Veränderungen gefunden. Ein hoher Dislokationsgrad der Frakturfragmente wurde auch in früheren Arbeiten mit einem schlechten Endergebnis in Verbindung gebracht (Manley 1981, Muir und Norris 1997) und deckt sich daher mit unserem Resultat. Aber auch weitere Risikofaktoren konnten determiniert werden (offene, Schräg- und Trümmerfrakturen, Brüche der Basis), die die Therapie beeinflussen und in dieser, wie auch in anderen Untersuchungen (Manley 1981, Lösslein 1982) ursächlich mit Komplikationen und einer Lahmheit in Verbindung gebracht werden konnten. Insgesamt stützen daher die statistisch signifikanten Risikofaktoren dieser Analyse die allgemein gültigen Behandlungsrichtlinien der Literatur.

Allerdings weisen die Indikationsstellungen für die Therapieform dieser Studie individuelle Abweichungen von den Richtlinien auf und sind daher geringgradig inkonsistent. Des Weiteren besteht eine Heterogenität in den Gruppen in Bezug auf die Frakturkonstellation, zum Beispiel innerhalb der Einzelfrakturen, woraus minimal uneinheitliche Behandlungssituationen resultieren. Nicht zuletzt deswegen bestehen in diesem Patientengut Hinweise, die in der Hinsicht aufmerksam machen, als dass der Großteil der Brüche zwar gut verheilt aber die Behandlung raffiniert werden könnte. Zum Beispiel, dass individuelle Abweichungen von den Behandlungsempfehlungen ebenfalls zum Erfolg führten (Veröffentlichung 1, Abbildung 4) oder, dass Achsenabweichungen nicht unbedingt zur Lahmheit und Arthrosen führen. Dies stellt eine Indikation für weitere Untersuchungen dar. Die Forderung nach großen, prospektiven, randomisierten und kontrollierten Studien mit einheitlichen Behandlungskriterien, die Behandlungsoptionen für Mittelfußbrüche vergleichen, um definitive Aussagen treffen zu können (Kapatkin et al. 2000, Wernham und Roush 2010) kann daher nur erneuert werden.

Letztlich deckt sich die Entscheidung über die Therapieform vor allem anhand des Dislokationsgrades und der Anzahl frakturierter Strahlen in dieser Untersuchung weitestgehend mit den kritisierten Behandlungsempfehlungen der Literatur.

Und unter Verwendung dieser empfohlenen Richtlinien konnte schließlich ein klinisch wie röntgenologisch besseres Ergebnis und damit eine bessere Prognose festgestellt werden, als sie bisher berichtet wurde (Manley 1981, Muir und Norris 1997, Kapatkin et al. 2000). Dies könnte mit den langen Kontrollzeiten zusammenhängen, welche Anpassungsvorgänge im Bereich der ehemaligen Frakturen zulassen. Mit Hilfe der computerisierten Ganganalyse konnte das insgesamt gute klinische Ergebnis bei den von uns damit untersuchten Hunden insbesondere hinsichtlich der konservativen Therapie objektiv untermauert werden.

Es wurde statuiert, dass sich der praktische Tierarzt aufgrund der mangelnden Beweislage bei der Behandlung von Metakarpal- und Metatarsalfrakturen des Hundes auf seine Intuition verlassen muss (Kapatkin et al. 2012). Entsprechend unseren Ergebnissen kann man sich, trotz aller ungeklärten Fragen, an den vermutlich aus der Humanmedizin abgeleiteten (Kapatkin et al. 2000) Angaben zumindest orientieren und darf dabei langfristig ein überwiegend gutes klinisches Ergebnis unter Bildung von Synostosen erwarten. Vor allem bei geringer Dislokation und Instabilität kann in Übereinstimmung mit Lösslein (1982) ein Großteil der Frakturen erfolgreich konservativ behandelt werden. Hinsichtlich der chirurgischen Therapie ist die Prognose nach unseren Erhebungen für operative Verfahren zwar generell besser als bislang berichtet, allerdings können auch wir über einzelne Osteosyntheseverfahren aufgrund der kleinen Gruppengrößen keine verbindlichen Aussagen treffen. Wie schon von anderen gefordert (Kapatkin et al. 2000) sollten daher zukünftig einzelne Techniken anhand repräsentativer Fallzahlen evaluiert beziehungsweise miteinander verglichen werden, um die Therapie für den Hundepatienten weiterhin zu optimieren. Hierbei wird man aber aufgrund der Heterogenität der Fraktur- und Therapieformen sowie der Inzidenz der Patienten wiederum auf multizentrische Studien angewiesen sein.

Bei den Katzen der vorliegenden Arbeit waren knapp die Hälfte der Mittelfußbrüche Folge eines Sturzes aus großer Höhe und gingen mit einem Trauma des Kopfes bzw. des Thorax (56 %), Gliedmassenfrakturen (59 %),

Verletzungen der Wirbelsäule oder des Beckens (11 %) einher. Es handelte sich daher um polytraumatisierte Patienten. Diese mit der Literatur korrelierenden Befunde können lebensbedrohlich sein (Lösslein 1982, Whitney und Mehlhaff 1987, Boudrieau 2004) und heben die Dringlichkeit einer Notfallbehandlung beim Katzenpatienten hervor, wie sie auch für polytraumatisierte Hunde empfohlen wird (Wernham und Roush 2010). Erst an die initiale Stabilisierung des Patienten kann sich die orthopädische Untersuchung anschließen. Bei den Mittelfußfrakturen der Katze dominieren dislozierte Quer- und kurze Schrägfrakturen des Schaftes mehrerer Knochen und Brüche der hauptgewichttragenden dritten und vierten Strahlen mit großem Abstand (Lösslein 1982, Degasperri 2007). Dies spiegelt sich auch in anderen Untersuchungen wider und erklärt das besondere Interesse für operative Techniken bei dieser Spezies. Insgesamt stehen aber auch hier nur wenige Erfahrungsberichte mit sehr geringen Fallzahlen zur Verfügung (Lösslein 1982, von Werthern 2000). Allgemein sind als Behandlungsmöglichkeiten für Katzen normo- und retrograde intramedulläre Bohrdrähte (Rudy 1975, Wind 1976, Early und Dee 1980, Benedetti 1986, Anderson 1993, Dee 2005, Zahn et al. 2006) und die Plattenosteosynthese (von Werthern 2000) beschrieben. Die „Maxillofacial Miniplate Compact 1.0“ wurde erfolgreich am Metatarsus bei 3 Katzen angewandt. Bei 2 Tieren wurden Brüche der zentralen Knochen (Mt 3/4) und bei einer Katze Pseudarthrosen nach einer Serienfraktur (Mt2-5) behandelt (von Werthern 2000). Die Frakturen heilten komplikationslos ab. Dieser Plattentyp ist wesentlich dünner im Kontrast zu anderen erhältlichen Modellen, geht aber auch mit höheren Kosten einher. Da in dieser, wie in anderen Studien (Lösslein 1982, Degasperri 2007) bei der Katze vor allem die kleineren Knochen des Metakarpus betroffen sind und zudem die geringe Weichteildecke im Bereich der Pfote im Fall von Serienfrakturen einen spannungsfreien Verschluss nach Plattenosteosynthese mit konventionellen Modellen erschwert sein kann, wodurch sich das Risiko einer Komplikationen bei der Wundheilung vergrößert, sind Platten nicht bei allen Verletzungen vorteilhaft. Intramedulläre Behandlungsmethoden stellen daher nicht nur eine kostengünstige, sondern potentiell schonendere Alternative dar. Die von Anderson et al. (1993) und Wind (1976) beschriebenen intramedullären Techniken allerdings bergen die Gefahr, das Zehengrundgelenk zu verletzen. Die normograde intramedulläre Technik/„Markraumspickung“ wurde anhand von 5 Katzen berichtet und führte bei 3 Katzen zu guten Ergebnissen, wohingegen bei 2

Katzen Arthrosen mit konsekutiver Lahmheit entstanden waren. Bei diesen Patienten waren die Bohrdrähte durch das Zehengrundgelenk geführt worden. Die Autorin schlussfolgert, dass unter diesen Umständen wie auch beim Hund immer Arthrosen und Lahmheit zu erwarten sind und warnt vor dieser Technik (Lösslein 1982). Benedetti (1986) beschrieb eine Methode, die darauf abzielt, das Zehengrundgelenk zu umgehen. Nachteile dieser Technik, wie auch der anderen Methoden (Wind 1976, Anderson 1993) sind das Risiko der iatrogenen Knochensplitterung und die Notwendigkeit einer Verwendung von Pins mit geringem Durchmesser, wodurch die Stabilität der Osteosynthese a priori begrenzt wird.

Die beim Hund beschriebenen Komplikationen und die hohe Inzidenz an Lahmheiten (Manley 1981, Lösslein 1982, Muir und Norris 1997, Kapatkin et al. 2000) stützen diese Annahme und lenken das Augenmerk auf zwei zentrale Themen der Markraumfixation: Zum einen die Schonung des Zehengrundgelenks sowie die Vermeidung einer Weichteilreizung durch Pinüberstände und zum anderen die Erhöhung der axialen Stabilität über den Bohrdrahtdurchmesser.

Die von Rudy für Rippenfrakturen erstmals beschriebene und später auch bei Mittelfußbrüchen angewandte Markraumbolzung wird an der Chirurgischen Tierklinik der LMU seit über 30 Jahren eingesetzt (Lösslein 1982) und wurde 2007 in ihren technischen Details für die Mc- und Mt Frakturen der Katze veröffentlicht (Zahn et al.).

Das im englischen als ‚Dowel‘ pinning bezeichnete Verfahren weist grundsätzlich im Vergleich zu den anderen retro- und normograden Pinningtechniken die Vorteile der

- vollständigen Vermeidung einer Irritation der angrenzenden Gelenke und einer Weichteilreizung durch Pinüberstände
- Möglichkeit einer Verwendung größerer Bohrdrahtdurchmesser und
- Minimierung des Risikos eines iatrogenen Knochenschadens während der Insertion der Pins auf.

Unsere sehr guten Ergebnisse aus der Analyse des Verfahrens bei 63 Katzen lassen somit die Markraumbolzung als eine sichere und mit einer niedrigen Komplikationsrate verbundene Methode für die Behandlung von Mittelfußbrüchen bei Katzen erscheinen. Diese positiven Erfahrungen werden im Übrigen von zwei

anderen Studien mit 11 beziehungsweise 13 re-evaluierten Fällen unterstützt (Lösslein 1982, Degasperi 2007).

Die offene Reposition und Fixation unter Distraction der Hauptfragmente stellt allerdings einen potentiellen Nachteil der Methode dar. So wurden in einer Untersuchung Pseudarthrosen auf eine mögliche Unterbrechung der Blutzufuhr bei der Distraction zurückgeführt, jedoch wurde Instabilität ebenfalls als Ursache in Erwägung gezogen (Degasperi 2007). Synostosen könnten gleichfalls eine Folge der chirurgischen Manipulation während dem Distrahieren, aber auch des größeren Initialtraumas stark dislozierter, instabiler Frakturen darstellen. Nach unseren Ergebnissen wiegen die beschriebenen Vorteile der Markraumbolzung aber die mögliche Beeinträchtigung des Weichteilmantels durch die Distraction der Fraktarenden auf, insbesondere da kein Hinweis auf eine klinische Relevanz von Synostosen in dieser Arbeit wie in anderen Studien (Lösslein 1982, Degasperi 2007) erhoben werden konnte.

Wie schon erwähnt, bedarf die normograde Insertion von Bohrdrähten der Flexibilität wegen dünnerer Pins, um diese nach Penetration des dorsalen Kortex in den Markraum manövrieren zu können (Benedetti 1985). Dementsprechend kann der Medullarraum nicht ausgefüllt werden (Manley 1981) und so zu Instabilität und postoperativen Achsenabweichungen führen (Muir und Norris 1997). Verzögerte Heilung, Pseudarthrosen und Lahmheit wurden bei Hundepatienten mit einer geringen axialen Instabilität in Verbindung gebracht und die Verwendung von intramedullären Bohrdrähten aufgrund einer allgemein hohen Komplikationsrate für den Hund nicht mehr empfohlen (Manley 1981, Muir und Norris 1997, Kapatkin et al. 2000). Die Ergebnisse dieser Arbeit wie auch der Literatur weisen im Vergleich dazu für Katzen ein besseres Behandlungsergebnis mit dem ‚Dowel‘ pinning auf. Dies dürfte vor allem mit der Verwendung von Bohrdrähten größerer Durchmesser und der damit verbundenen höheren Stabilität zusammenhängen. Selbst eine geringe Zunahme des Bohrdrahtdurchmessers resultiert bei diesen Größenordnungen in einer deutlichen Zunahme der Stabilität (Muir 1995). Der Markraum sollte generell vom Bohrdraht weitgehend ausgefüllt werden, darf jedoch auch nicht zu groß sein, um ‚stress protection‘ und eine Störung der endostalen Blutversorgung zu vermeiden (Perren 1988). Andererseits bergen zu dünne Pins auch bei der Markraumbolzung das Risiko einer Implantatbiegung und Achsenabweichung als mögliche Ursache für eine höheren

Inzidenz dieser Komplikationen bei Katzen in einer anderen Untersuchung (Degasperi 2007), in der Bohrdrähte schon ab 0.6 mm zum Einsatz gelangt waren. Im Vergleich hierzu hatten wir dank der dickeren Drähte nur bei einer Katze eine Biegung der Implantate zu verzeichnen, die auch Folge einer mangelnden Ruhighaltung in der Heilungsphase sein konnte. Auch wenn ein Zusammenhang zwischen unseren besseren Resultate bei Katzen mit der erhöhten axialen Stabilität der Markraumbolzung durch dickere Pins wahrscheinlich ist, kann dies jedoch letztlich nur durch einen Vergleich des ‚Dowel‘ pinning mit normograden Methoden bewiesen werden. Da aufgrund des retrospektiven Charakters unserer Studie keine Aussage bezüglich der generellen Notwendigkeit und Dauer einer zusätzlichen Verbandstherapie getroffen werden kann und diese unabhängig von der chirurgischen Maßnahme also auch für die Plattenosteosynthese als alternative Methode für Katzen empfohlen wird (Dee 2005), müssen zukünftige Untersuchungen hierauf eingehen. Ein prospektiver, randomisierter Vergleich des ‚Dowel‘ pinning mit der Plattenosteosynthese, besonders im Hinblick auf die Heilungsdauer, könnte aber die Prognose für die chirurgische Behandlung von Mittelfußfrakturen bei Katzen weiter präzisieren.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit der vorliegenden Arbeit zum einen gezeigt werden konnte, dass die Prognose für Mittelfußbrüche des Hundes unter überwiegender Verwendung der in der Literatur genannten Behandlungsrichtlinien besser ist als bisher berichtet wurde. Die gute Leistungsfähigkeit der konservativen Behandlung konnte in vielen Fällen bestätigt werden, während für die operative Therapie zukünftig einzelne Operationstechniken weiter evaluiert werden sollten. Zum anderen konnte gezeigt werden, dass unter Berücksichtigung der Risiken anderer intramedullärer Methoden, der sehr guten Ergebnisse und der geringen Komplikationsrate in dieser Untersuchung, die als ‚Dowel‘ pinning bezeichnete Markraumbolzung für die Behandlung von geschlossenen Metakarpal- und Metatarsalfrakturen der Katze eine einfache und kostengünstige Behandlungsmethode darstellt und empfohlen werden kann. Noch laufende Untersuchungen müssen zeigen, ob sich dieses Verfahren bei entsprechend dicken Pins auch für die Mittelfußbrüche des Hundes eignet.

6 Zusammenfassung

Ziel der Arbeit war es, einen Beitrag zur Optimierung der Behandlung von Metakarpal- und Metatarsalfrakturen bei Katzen und Hunden zu leisten.

In der Literatur werden nach Behandlung von Mittelfußbrüchen des Hundes Lahmheitsfrequenzen von 18 bis 70 % angegeben und daher die in der Literatur genannten Behandlungsrichtlinien in Frage gestellt. Im ersten Teil dieser Arbeit sollte daher anhand einer retrospektiven Analyse von Spätkontrollen die Prognose dieser Verletzungen nochmals geprüft werden. Zur Auswertung gelangten Befunde von 100 Hunden mit vollständiger Dokumentation, deren Frakturheilung im Mittel 4 Jahre post Trauma dokumentiert werden konnte. Diese Patienten wurden der gewählten Therapie entsprechend drei Gruppen (1 = konservativ, 2 = operativ, 3 = gemischt) zugeordnet und Hunde mit gleichen Ausgangsvoraussetzungen nach den Verletzungsdetails auf Komplikationen im Heilungsverlauf sowie auf ihr röntgenologisches und funktionelles Endergebnis im Vergleich der Gruppen statistisch geprüft (exakter Test nach Fischer, exakter Wilcoxon-Mann-Whitney-Test). Des Weiteren wurden Risikofaktoren für jeden Knochen ermittelt (multiple, schrittweise, logistische Regression). Bei 15 Hunden wurden mit computerisierter Ganganalyse ferner die kinetischen Parameter Standphase (% Gesamtschritt), Impuls (% Gesamtimpuls) und Gewichtsverteilung (%) ermittelt. Komplikationen traten bei 11 von 67 (16 %) konservativ behandelten Hunden, 3 von 25 (12 %) operierten und 3 von 8 (37 %) teils konservativ, teils operativ versorgten Hunden auf. Im Endergebnis lag die Lahmheitsfrequenz insgesamt aber nur bei 3 %. Auch die Arthrose- und Pseudarthrosehäufigkeit war mit 3 % bzw. 1 % niedrig, obgleich die Heilung röntgenologisch in 14 % der Fälle mit einem Achsenfehler meist einzelner Strahlen erfolgt war. Synostosen wurden bei 19 % der Patienten gefunden und waren signifikant häufiger bei chirurgisch behandelten Hunden. Ein statistisch gesicherter Unterschied im Behandlungserfolg zwischen den 3 Gruppen konnte nicht nachgewiesen werden. Es zeichnete sich jedoch ein höheres Komplikationsrisiko bei Metatarsalfrakturen ab und, auch am Metakarpus, bei Brüchen mit stärkerer Dislokation und Instabilität (Serienfrakturen). Nach den vorliegenden Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Prognose für Mittelfußbrüche des Hundes unter überwiegender

Verwendung der in der Literatur genannten Behandlungsrichtlinien besser ist als bisher berichtet wurde. Unter dem Vorbehalt, dass in der Regel ungünstigere Frakturkonstellationen operativ versorgt werden, zeichnet sich abgesehen von der Inzidenz von Synostosen statistisch im Resultat zum wiederholten Male und trotz hoher Patientenzahlen kein Unterschied zwischen konservativer und operativer Therapie ab. Eine Power Analyse und gegebenenfalls eine multizentrische Untersuchung könnten zukünftig zur endgültigen Klärung dieser Fragestellung verhelfen.

Für die Behandlung von Metakarpal- und Metatarsalfrakturen der Katze sind in der Literatur nur sehr wenige chirurgische Behandlungsoptionen berichtet. Im zweiten Teil dieser Arbeit sollte daher die Markraumbolzung (engl. ‚Dowel‘ pinning) beschrieben und mit der konservativen Behandlung von Mittelfußbrüchen bei Katzen verglichen werden. Von 351 Katzen konnten 63 mittel ‚Dowel‘ pinning, 35 konservative und 14 gemischt behandelte Patienten nach durchschnittlich 2,8 Jahren postoperativ klinisch und röntgenologisch nachuntersucht werden. Die Methode des ‚Dowel‘ pinning war der Verbandsbehandlung überlegen, wenn alle frakturierten Knochen versorgt werden konnten. War dies aufgrund von zu kurzen Frakturfragmenten oder Trümmerbrüchen nicht möglich, unterschied sich das Endergebnis nicht signifikant von konservativ behandelten Patienten. Achsenabweichungen wurden bei 16 % der mittels Verband behandelten und infolge Implantatbiegung bei 3 % der mittels ‚Dowel‘ pinning therapierten Katzen beobachtet. Letzteres bezieht sich auf nur eine operierte Katze mit 4 gebrochenen Metakarpalknochen derselben Gliedmaße. Zur Wanderung der Implantate innerhalb des Markraumes kam es bei zwei Katzen, wobei keine Anzeichen einer Pseudarthrose oder Lahmheit aufwiesen. Eine Pseudarthrose trat bei einer Katze mit gebrochenem 4. Metakarpalknochen auf, bei der die Fraktur mittels Kirschner-Bohrdraht nicht vollständig reponiert werden konnte. Osteomyelitiden wurden nicht beobachtet. Insgesamt konnte gezeigt werden, dass unter Berücksichtigung der Risiken anderer intramedullärer Methoden, der sehr guten Ergebnisse und der geringen Komplikationsrate in dieser Untersuchung, die als ‚Dowel‘ pinning bezeichnete Markraumbolzung für die Behandlung von geschlossenen Metakarpal- und Metatarsalfrakturen der Katze eine einfache und kostengünstige Behandlungsmethode darstellt und empfohlen werden kann. Mit der vorliegenden

Untersuchung konnte daher das operative Behandlungsspektrum von Mittelfußbrüchen bei der Katze um das ‚Dowel‘ pinning erweitert werden. Noch laufende Untersuchungen müssen zeigen, ob sich dieses Verfahren bei entsprechend dicken Pins auch für die Mittelfußbrüche des Hundes eignet.

7 Summary

The goal of this study is to contribute to the improvement of metacarpal and metatarsal fracture repair in cats and dogs.

In the veterinary literature the frequency of lameness in dogs after treatment of metacarpal and metatarsal fractures are given at 18 to 70 % and therefore questioning current treatment recommendations. The first part of the study is a verification of the prognosis of these injuries via a retrospective analysis of late controls. One hundred dogs with complete records of fracture healing with a median of 4 years post trauma were documented. Depending on the type of treatment these patients were placed into 3 groups (1 = conservative, 2 = operative, 3 = mixed). Dogs with comparable injuries were statistically tested for complications during healing as well as their radiographic and functional outcome and within the groups (exact Fischer Test, exact Wilcoxon-Mann-Whitney-Test). Moreover risk factors for each bone were determined (multiple, step wise and logistic regression). In 15 dogs, kinetic parameters (relative stance phase, peak vertical force and impulse) were investigated via computed gait analysis.

Complications occurred in 11 of 67 (16 %) conservatively treated dogs, 3 of 25 (12 %) in surgically treated dogs and 3 of 8 (37 %) in partially conservative and surgically treated dogs. The end result showed a frequency of lameness of only 3 %. Also the arthrosis and pseudoarthrosis occurrence rate was low at 3 % respectively 1 %, although the degree of radiographic healing occurred with an axis deviation of individual digit rays. Synostosis was found in 19 % of the patients and significantly more frequently among the surgically treated dogs. A statistically significant difference in the treatment results could not be found. A greater risk of complications was seen in metatarsal fractures and also in the metacarpus, when fractures were greatly dislocated and unstable (serial fractures). Regrading the scrutinized research it can be stated that the prognosis for metacarpal and metatarsal fractures, under utilization of treatment recommendations presented in the veterinary literature, is better than previously reported. Adversely, generally more complicated fracture types were treated surgically. Yet statistically, apart from the higher incidence of synostosis in surgically treated fractures, the end results showed repeatedly and despite higher surgical patient numbers no difference between conservative and surgical treatment methods. A power

analysis and preferably a multi-centre study would help to resolve this question in future.

For the treatment of metacarpal and metatarsal fracture in cats only few surgical treatment options have been described in the veterinary literature. The second part of this study describes 'Dowel' pinning and compares it to the conservative treatment of metacarpal and metatarsal fractures in cats. Of the 351 cats recorded, 63 treated with dowel pinning, 35 conservatively and 14 with both, were re-examined clinically and radiographically after a median of 2.8 years post operatively. The method of 'Dowel' pinning was superior to bandage treatment alone, when all fractured bones were repaired. Was this however not possible due to too short fragments or comminuted fractures, then the results did not differ significantly to conservatively treated patients. Axis deviation was reported in 16 % of the conservatively treated and in 3 % in the 'Dowel' pinning group due to implant bending. The latter referring to a cat with 4 fractured metacarpal bones in the same limb. Implant migration within the medullary cavity occurred in 2 cats. However none of these cats showed signs of pseudoarthrosis or lameness. A pseudoarthrosis occurred in one cat with a fractured fourth metacarpal bone where the fracture repositioning with a Kirschner pin was insufficient. Osteomyelitis was not observed. In summary it could be shown, considering the risks of other intramedullary methods and the low complication rate found in this study, that 'Dowel' pinning for the treatment of closed metacarpal and metatarsal fractures in the cat can be recommended as an easy and low cost treatment method. With this study the surgical treatment spectrum of metacarpal and metatarsal fractures in the cat can be extended by 'Dowel' pinning. Current investigations still need to show if this technique including thicker pins is a viable option for metacarpal and metatarsal fractures in the dog.

8 Literaturverzeichnis

1. Amman K. Erfahrungen mit der Osteosynthese bei den Gliedmaßenfrakturen des Hundes. Schweiz Arch Tierhk 1952, 94: 307-315.
2. Anderson MA, Payne JT, Constantinescu GM. Managing fractures and related injuries of the distal extremities in dogs and cats. Vet Med 1993; 88: 957-968.
3. Anderson MA, Constantinescu GM. Fractures and Dislocations of the Racing Greyhound – Part I. Comp Cont Edu 1995; 17: 779-786.
4. Anderson DM, White RAS. Ischemic Bandage Injuries: A Case Series and Review of the Literature. Vet Surg 2000, 29: 488-498.
5. Bellenger CR, Johnson KA, Davis PE et al. Fixation of Metacarpal and Metatarsal Fractures in Greyhounds. Aus Vet J 1981; 57: 205-211.
6. Benedetti LT, Berry K, Bloomberg M. A Technique for Intramedullary Pinning of Metatarsals and Metacarpals in Cats and Dogs. J Am Anim Hosp Assoc 1986; 22: 149-152.
7. Besancon MF, Conzemius MG, Evans RB, Ritter MJ. Distribution of vertical forces in the pads of Greyhounds and Labrador retrievers during walking. AJVR 2004, 65 (11): 1497-1501.
8. Boemo CM. Injuries of the Metacarpus and Metatarsus. In: Bloomberg MS, Dee JF, Taylor RA (eds.). Canine Sports Medicine and Surgery. Saunders, 1998: 150-173.
9. Boudrieau RJ. High-rise syndrome in cats. Proceedings ESVOT 2004; 12: 24-25.
10. Brinker WO, Piermattei DL, Flo GL. Frakturen des Carpus, Metacarpus und der Phalangen. In: Orthopädie und Frakturbehandlung beim Kleintier. 2. Auflage. Schattauer, Stuttgart, 1993: 173-190.
11. Brüse S, Dee J, Prieur WD. Internal Fixation with a Veterinary Cuttable Plate in Small Animals. Vet Comp Orthop Traumatol 1989, 1: 40-46.
12. Budsberg S. Is force plate analysis the answer to lameness evaluation? Proceedings of the 1st World Orthopaedic Veterinary Congress, Munich, Germany, 2002.
13. Caliebe F, Haubetaler J, Hoffmann P, et al. Cat distal forelimb joints and locomotion: an X-ray study. Eur J Neurosci 1991; 3: 18-31.

14. De Camp CE. Kinetic and kinematic gait analysis and the assessment of lameness in the dog. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 1997; 27 (4): 825-840.
15. Dee JF, Dee LG. Fractures and dislocations associated with the racing greyhound. In : Newton CD, Nunamaker DM (eds) : *Textbook of Small Animal Orthopedics*. Philadelphia, JB Lippincott Co, 1985 : 467-477.
16. Dee JF, Dee LG, Eaton-Wells RD. Injuries of High Performance Dogs. In: Whittick WG (ed.): *Canine Orthopedics*, 2nd ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1990: 519-570.
17. Dee JF. Fractures of the digits. In: Johnson AL, Houlton JEF, Vannini R (eds). *AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat*. New York, Thieme 2005: 371-373.
18. Degasperi B, Gradner G, Dupre' G. Intramedullary Pinning of Metacarpal and Metatarsal Fractures in Cats Using a Simple Distraction Technique. *Vet Surg* 2007; 36: 382-388.
19. De La Puerta B, Emmerson T, Moores AP, Pead MJ. Epoxy putty external skeletal fixation for fractures of the four main metacarpal and metatarsal bones in cats and dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2008; 21: 451-458.
20. Dixon WJ, chief editor. *BMDP Statistical Software Manual*, Volume 1 and 2.
21. Dyce J. The distal limb. In: *BSAVA Manual of Small Animal Fracture Repair and Management*. Coughlan A, Miller A (eds.). 2006: 267-272.
22. Early TD, Dee JF. Trauma to the Carpus, Tarsus and Phalanges of Dogs and Cats. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 1980; 10: 717-747.
23. Evans HE. The Skeleton. In: *Miller's Anatomy of the dog*. 3rd edn. Evans HE (ed). Saunders, Philadelphia, 1993: 122-218.
24. Evans HE. Arthrology. In: *Miller's Anatomy of the dog*. 3rd edn. Evans HE (ed). Saunders, Philadelphia, 1993: 219-257.
25. Evans R, Horstman C, Conzemius M. Accuracy and optimization of force platform gait analysis in Labradors with cranial cruciate disease evaluated at a walking gait. *Vet Surg.* 2005 Sep-Oct; 34 (5): 445-449.
26. Fitzpatrick N, Riordan JO, Smith TJ, et al. Combined intramedullary and external skeletal fixation of metatarsal and metacarpal fractures in 12 dogs and 19 cats. *Vet Surg* 2011; 40: 1015-1022.

-
27. Frewein J. Muskulatur. In: Anatomie von Hund und Katze. Frewein J, Vollmerhaus B (Hrsg.) Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin 1994: 77-128.
 28. Frewein J, König HE, Waibl H. Blutgefäße. In: Anatomie von Hund und Katze. Frewein J, Vollmerhaus B (Hrsg.) Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin 1994: 257-295.
 29. Frewein J. Peripheres Nervensystem. In: Anatomie von Hund und Katze. Frewein J, Vollmerhaus B (Hrsg.) Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin 1994: 378-402.
 30. Gannon JR. Stress Fractures In The Greyhound. Aust Vet J 1972; 48: 244-250.
 31. Gentry SJ, Taylor RA, Dee JF. The Use of Veterinary Cuttable Plates: 21 Cases. J Am Anim Hosp Assoc 1993; 29: 455-459.
 32. Hermanson JW, Evans HE. The Muscular System. In: Miller's Anatomy of the dog. 3rd edn. Evans HE (ed). Saunders, Philadelphia, 1993: 258-384.
 33. Herzog W, Nigg BM, Read LJ, Olsson E. Asymmetries in ground reaction force patterns in normal human gait. Med Sci Sports Exerc 1989; 21: 110-114.
 34. Hickman J. Greyhound injuries. J Small Anim Pract 1975; 16: 455-460.
 35. Jevens DJ, Hauptman JG, DeCamp CE, Budsberg SC, Soutas-Little RW. Contributions to variance in force-plate analysis of gait in dogs. Am J Vet Res 1993; 54: 612-15.
 36. Kapatkin A, Howe-Smith R, Shofer F. Conservative versus surgical treatment of metacarpal and metatarsal fractures in dogs. Vet Comp Orthop Traumatol 2000; 13: 123-127.
 37. Kapatkin AS, Garcia-Nolen T, Hayashi K. Carpus, Metatarsus, and Digits. In: Veterinary Surgery – Small Animal 1st ed. Tobias KM, Johnston SA (ed). 2012: 791.
 38. Leonard EP. Orthopedic surgery of the dog and cat. W.B. Saunders Company, Philadelphia-London-Toronto, 1971.
 39. Lösslein LK. Metakarpal- und Metatarsalfrakturen bei Hund und Katze. Behandlung und Ergebnisse in den Jahren 1975-1981. Dissertation, LMU München 1982.

-
40. Manley PA. Distal Extremity Fractures in Small Animals. *J Vet Orthop* 1981; 2 (2): 38-48.
 41. Muir P, Johnson KA, Markel MD. Area moment of inertia for comparison of implant cross-sectional geometry and bending stiffness. *VCOT* 1985; 8: 146-152.
 42. Muir P, Norris JL. Metacarpal and metatarsal fractures in dogs. *J Small Anim Pract* 1997; 38: 344-348.
 43. Ness MG. Metatarsal III fractures in the racing greyhound. *J Small Anim Pract* 1993; 34: 85-89.
 44. Ness MG, Abercromby RH, May C, et al. A survey of orthopaedic conditions in small animal veterinary practice in Britain. *Vet Comp Orthop Traumatol* 1996; 9: 43-52.
 45. Off W, Matis U. Ganganalyse beim Hund. Teil 1 und 2. *Tierärztl Prax* 1997; 25: 8-14; 303-311.
 46. Okumura M, Watanabe K, Kadosawa T, Fujinaga T. Surgical salvage from comminuted metatarsal fracture using a weight-bearing pin-putty apparatus in a dog. *Aus Vet J* 2000; 78: 95-98.
 47. Omrod, AN. Limb Fractures in the Dog and Cat – IV Fractures of the Fore Limb. *J Small Anim Pract* 1966; 7: 155-162.
 48. Perren SM, Cordey J, Rahn BA et al. Early temporary porosis of bone induced by internal fixation implants. *Clin Orthop Rel Res* 1988; 232: 139-151.
 49. Phillips IR. A survey of bone fractures in the dog and cat. *J Small Anim Pract* 1979; 20: 661-674.
 50. Piermattei DL, Johnson K. *An Atlas of Surgical Approaches to the Bones and Joints of the Dog and Cat*. 2004.
 51. Piras A. Metacarpal / tarsal and phalangeal fractures. *Proceedings ESVOT* 2006; 13: 119-120.
 52. Piras A, Guerrero TG. Minimally Invasive Repair of Meta-bones. *Vet Clin Small Anim* 2012; 42: 1045-1050.
 53. Prabhugankar NV, Jayaprakash R, Ayyappan S, Ganesh TN, Suresh Kumar R. Surgical management of metacarpal fractures in a dog. *Indian J Anim Hlth* 2006; 45: 87-90.

-
54. Probst CW, Millis DL. Carpus and Digits. In: Textbook of Small Animal Surgery. 3rd edn. Slatter D (ed). 2002: 1974-1988.
55. Quinn MM, Keuler NS, Lu Y, Faria MLE, Muir P, Markel MD. Evaluation of agreement between numerical rating scales, visual analogue scoring scales, and force plate gait analysis in dogs. Vet Surg. 2007 Jun; 36 (4): 360-367.
56. Risselada M, Verleyen P, van Bree H, Verhoeven G. The use of an external skeletal traction device for distal fractures in the dog. Vet Comp Orthop Traumatol 2007, 20: 131-135.
57. Rudy RL. Pins, wires, nuts and bolts. Scientific presentations of the 42nd Annual Meeting of the American Animal Hospital Association, South Bend, Indiana. 1975; 1: 380.
58. Seibert RL, Lewis DD, Coomer AR, Sereda CW, Royals SR, Leasure CS. Stabilisation of metacarpal or metatarsal fractures in three dogs, using circular external fixation. New Zealand Vet J 2011; 59: 96-103.
59. Senn E. Bedeutung der apparativen Ganganalyse für die krankengymnastische Gangschulung. Physiotherapie Bull 1994; 35:16-19.
60. Singleton WB. Limb Fractures in the Dog and Cat – V Fractures of the Hind Limb. J Small Anim Pract 1966; 7: 163-168.
61. Souza ANA, Pinto ACBCF, Marville V, Matera JM. Evaluation of vertical forces in the pads of German Shepherd dogs. Vet Comp Orthop Traumatol 2013, 26: 6-11. Schweiberer L, Lindemann M. Infektion nach Marknagelung. Chirurg 1973; 44: 542-548.
62. Theyse LFH, Hazewinkel H AW, Van den Brom WE. Force plate analysis before and after surgical treatment of unilateral fragmented coronoid process. Vet Comp Orthop Traumatol 2000; 13: 135-140.
63. Vollmerhaus B, Frewein J, Roos H, Knospe C. Skelett. In: Anatomie von Hund und Katze. Frewein J, Vollmerhaus B (Hrsg.) Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin 1994: 4-51.
64. Vollmerhaus B, Waibl H, Roos H. Gelenke. In: Anatomie von Hund und Katze. Frewein J, Vollmerhaus B (Hrsg.) Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin 1994: 53-75.

-
65. Vollmerhaus B, Roos H, Brugger S. Anatomische Grundlagen und arttypische Bewegungen im Ellbogengelenk und proximalen Radioulnargelenk der Hauskatze. Tierärztl Prax 1993; 21: 163-171.
 66. Von Werthern CJ, Bernasconi CE. Application of the Maxillofacial Mini-plate Compact 1.0 in the Fracture Repair of 12 Cats / 2 Dogs. Vet Comp Orthop Traumatol 2000; 13: 92-96.
 67. Weigel JP, Arnold G, Hicks DA, Millis DL. Biomechanics of Rehabilitation. Vet Clin Small Anim 2005; 35: 1255-1285.
 68. Weinstein J, Ralphs C. External Coaptation. Clin Tech Small Anim Pract 2004, 19: 98-104.
 69. Wernham BGJ, Roush JK. Metacarpal and metatarsal fractures in dogs. Compend Contin Educ Vet 2010; 29: E1-7.
 70. Whitelock RG, Dyce J, Houlton JEF. Metacarpal fractures associated with pancarpal arthrodesis in Dogs. Vet Surg 1999; 28: 25-30.
 71. Whitney WO, Mehlhaff CJ. High-rise syndrome in cats. J Am Vet Med Assoc 1987; 191: 1399-1403.
 72. Wind A. Fractures of the metacarpal (metatarsal) bones. Proceedings Am Anim Hosp Assoc 1976; 43: 346.
 73. Wong WT. A survey of fractures in the dog and cat in Malaysia. Vet Rec 1984; 115: 273-274.
 74. Zahn K, Kornmayer M, Matis U. Metacarpal and Metatarsal fractures in cats. VCOT 2006; 19: A59.

9 Danksagung

Mein herzlichster Dank gilt Frau Prof. Dr. Dr. U. Matis für die Überlassung des Themas und ihre Betreuung. Ihre Hilfsbereitschaft und das in mich gesetzte Vertrauen haben mich den Weg in die faszinierende Welt der Kleintierchirurgie finden lassen und mir wertvolle Erfahrungen für die klinische und für die wissenschaftliche Arbeit vermittelt.

Herrn Prof. Dr. Dr. R. Köstlin danke ich zudem herzlichst für die Übernahme und die Weiterbetreuung der Dissertation nach dem Ausscheiden von Frau Prof. Dr. Dr. U. Matis aus dem Promotionsausschuss.

Außerdem bedanken möchte ich mich bei Herrn Dr. Klaus Zahn für die Zusammenarbeit bei den Veröffentlichungen sowie bei den Kollegen der Abteilung für Radiologie und den Pflegern der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München für Ihre Hilfestellungen bei Tag und bei Nacht.

Herrn Dr. Klaus Failing danke ich für die statistische Bearbeitung der Daten und die Beratung bei deren Auswertung.

Dank gilt auch Frau Dr. Stephanie Steigmeier für die Zweitbeurteilung der ganganalytischen Daten.

Bei Herrn Michael Schüssler bedanke ich mich für die Bildbearbeitung, Frau Dr. Meredith Kiokekli für das Lektorat sowie der Dr. Karl-Heinz Kurtze-Stiftung für die finanzielle Unterstützung.

Nicht zuletzt gilt mein Dank meiner Familie und Herrn Georg Hiebl für den liebevollen Beistand